

Optimalizace výroby sádrových jader pro vulkanizační formy

Bc. Vladimír Pospíšil

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vladimír Pospíšil**
Osobní číslo: **T16140**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Optimalizace výroby sádrových jader pro vulkanizační formy**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická rešerše na dané téma
2. Test kvality sádrových směsí pro jádra vulkanizačních forem
3. Nastavení optimálních podmínek na míchací lince
4. Vyhodnocení a sestavení grafů napětí vzhledem k mechanickým vlastnostem
5. Diskuze výsledků a doporučení pro praxi

Rozsah diplomové práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 2. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 9.5.2018



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělčelně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odporá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá optimalizací výroby sádrových jader pro vulkanizační formy. Jde o jednu z klíčových operací při výrobě vulkanizačních forem. V několika kapitolách budou diskutovány teoretické a praktické specifikace této metody, zkoušky sádry a odlitků a jejich následné vyhodnocení.

Klíčová slova: Sádra, optimalizace, forma, odlitek.

ABSTRACT

This thesis talks about optimization of plaster cores production for vulcanization moulds. This is key operation for vulcanization mould production. In following few chapters there will be discussion about theoretical and practical specification of this method, tests of plaster and casts and their final evaluation.

Key words: plaster, optimization, mould, casting.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D., za odborné vedení, poskytnuté rady a připomínky k této práci. Také bych rád poděkoval

Ing. Slavomíru Hazuchovi, Ph.D. a Ing. Jaroslavu Žujovi ze společnosti Continental Barum s.r.o., za poskytnuté informace. V neposlední řadě děkuji své manželce, která pro mě vytvářela prostředí umožňující tvorbu této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SÁDRA	12
1.1 VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA SÁDRY	13
1.2 VÝROBA SÁDRY	16
1.2.1 Půlhydrát α - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	17
1.2.2 Technologie výroby α – sádry.....	17
1.2.3 Půlhydrát β - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	18
1.2.4 Technologie výroby β - sádry	19
1.2.5 Technologie výroby α a β sádry	22
1.2.6 CaSO_4 III.....	24
1.2.7 CaSO_4 II.....	25
1.2.8 CaSO_4 I.....	25
1.3 ROZDĚLENÍ SÁDRY	26
1.4 SÁDRA PRO SLÉVÁRENSKÉ ÚČELY	27
1.5 TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ SÁDRY	28
2 SÁDROVÉ FORMOVACÍ SMĚSI	31
2.1 VLASTNOSTI SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ	33
2.2 METODA NAPĚNĚNÉ SMĚSI	34
3 ZKOUŠKY NA SÁDROVÝCH SMĚSÍCH	36
3.1 VSTUPNÍ ZKOUŠKY SÁDRY	36
4 ZKOUŠKY NA SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍCH	37
4.1 TAHOVÁ ZKOUŠKA	37
4.2 OHYBOVÁ ZKOUŠKA.....	38
4.3 ZKOUŠKA PRODYŠNOSTI.....	39
4.4 TLAKOVÁ ZKOUŠKA	39
5 VÝROBA ODLITKU	41
6 SLÉVÁRENSKÁ FORMA	43
6.1 KOVOVÉ FORMY	43
6.2 GRAFITOVÉ FORMY	43
6.3 GUMOVÉ (SILIKONOVÉ) FORMY	43
7 LITÍ SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN	44
7.1 LITÍ POD TLAKEM	44
7.2 LITÍ Odstředivé.....	44
7.3 LITÍ DO SKOŘEPINOVÝCH FOREM.....	45
7.4 PŘESNÉ LITÍ.....	46
7.5 LITÍ SKLOPNÉ	46
8 VÝROBA FOREM CONTINENTAL	47
8.1 VÝROBA SEGMENTOVÉ FORMY VE VFC	47
8.1.1 Dezénové segmenty	48
8.1.2 Bočnice.....	48

8.1.3	Patkové kroužky	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
9	CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI	51
10	PROCES VÝROBY SEGMENTŮ VULKANIZAČNÍ FORMY	52
10.1	FRÉZOVÁNÍ MODELŮ PRO SEGMENTOVÉ FORMY	52
10.2	VÝROBA SILIKONOVÉHO FORMY	54
10.3	RUČNÍ PŘÍPRAVA SÁDROVÉ SMĚSI PRO VÝROBU SÁDROVÝCH JADER	55
10.4	ODLÉVÁNÍ ODLITKU	59
11	STROJNÍ PŘÍPRAVA SÁDROVÉ SMĚSI PRO VÝROBU JADER.....	61
11.1	KONSTRUKCE STROJE	61
11.2	PRINCIP ČINNOSTI.....	62
11.3	TECHNICKÉ ÚDAJE.....	62
12	SÁDROVÉ SMĚSI	65
12.1	THERMOMOLD FOAM I A II	65
12.2	HYDROPERM	66
13	TESTOVÁNÍ SÁDROVÝCH SMĚSÍ	68
13.1	NAPĚNĚNÍ SÁDRY	68
13.1.1	ThermoMold Foam I a II.....	69
13.1.2	Hydroperm	70
13.2	TVRDOST SÁDRY	71
13.3	PRODYŠNOST SÁDRY	72
13.4	ZKOUŠKA PEVNOSTI V TLAKU.....	75
13.5	MĚŘENÍ GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI.....	77
13.6	MĚŘENÍ UNIFORMITY FORMY	80
14	VYHODNOCENÍ	82
15	DISKUZE VÝSLEDKŮ	86
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
	SEZNAM GRAFŮ	95
	SEZNAM TABULEK.....	96
	SEZNAM PŘÍLOH.....	97

ÚVOD

Význam automobilového odvětví pro Českou republiku je značný, ať už z pohledu ekonomického výkonu nebo z hlediska pracovního trhu, kdy představuje jednoho z hlavních zaměstnavatelů v průmyslu.

Automobilový průmysl prochází v poslední době řadou velkých změn, a to nejen v technických novinkách samotných automobilů, ale také v procesu výroby a v obchodním modelu u dodavatelů. Společnost Continental Barum k takovým dodavatelům patří, proto se snaží aktivně přistupovat ke zvyšování efektivity výroby, k přiměřenému udržení nákladů, k optimalizaci výrobních a servisních procesů a k investicím do vývoje a inovací.

Výroba forem Continental (VFC) klade na technologie a odlitky stále vyšší nároky – kvalitativní, ekonomické i ekologické. Předpokládaná práce si dává za cíl korespondovat s tímto trendem.

Hlavním tématem práce je optimalizace výroby sádrových jader pro vulkanizační formy. Parametry z testování napětění, prodyšnosti, tvrdosti, pevnosti v tlaku, 3D optického měření odlitku i sádrových jader a měření uniformity formy, přispějí k zvolení vhodného typu sádry pro novou technologii automatizovaného míchání sádry. Naší snahou je přenést rozměrovou přesnost a povrchovou jakost na odlitek. K této metodě odlévání je obecně velmi málo literatury. Firmy, které mají zakoupené licence, si velmi dobře chrání svoje know - how.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SÁDRA

Sádra patří k nejdéle používaným pojivům. Sádra, neboli hemihydrát síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, je jedním z nejstarších stavebních pojiv, lidstvo ji používalo již téměř 7000 let před naším letopočtem. Byla známa již ve starověku - Egypt, Asýrie, Fénicie, Palestina a jiné, například při budování stěn Jericha, Cheopsovy pyramidy, obydlí Pompejí a mnoha jiných historických staveb. Egypťané, Řekové, Chaldejci, Feničané a mnozí jiní využívali sádrové formy k odlévání odlitků z neželezných kovů. Účelem těchto metod bylo dosažení kvalitní reprodukce obrysů uměleckých předmětů a získání co nejlepších geometrických tvarů.

Později se používání sádry přeneslo z Egypta do Řecka a do Itálie. Odtud se její zpracování rozšířilo do dalších částí Evropy. Největší rozšíření sádry spadá až do počátku 19. století. [6, 20]

V současné době má použití sádry široké uplatnění především ve výrobě stavebních hmot. Používá se dále například:

- k výrobě sádrokartonových desek
- při štukatérských a sochařských pracích - k výrobě forem,
- k odlévání modelů a reliéfů,
- ve stavebnictví
- ve zdravotnictví atd.

Sádra má schopnost hydratovat (tuhnout) různou rychlostí podle toho, jakým způsobem byla připravena. Snadno se zpracovává a lze ji přizpůsobit různým stavebním nebo technickým účelům. Sádra se vyznačuje schopností pohlcovat vlhkost (je hygroskopická), což se pozitivně uplatňuje zejména při regulaci vlhkosti v obytných prostorech. Objemové změny v průběhu tvrdnutí sádry jsou poměrně velmi malé, nízká je také tepelná vodivost. Základními nedostatky sádry je její citlivost na vlhkost a zejména pokles pevnosti ve vlhkém prostředí. Rovněž koroze výztuže v sádrových materiálech je poměrně vysoká, a to díky jejich velké pórovitosti. Navíc sádrová pojiva nevytvářejí, na rozdíl od vápna nebo cementu, alkalické prostředí, v němž by ocel byla pasivována. Vzhledem k nízké objemové hmotnosti a vysoké pórovitosti má sádra malou zvukovou pohltivost. [1]

Sádra se používá také ve slévárenství na výrobu sádrových forem a jader. Pomocí nich se získávají tenkostěnné odlitky ze slitin hliníku, mosazi, bronzů, zlata, stříbra, segmenty na

vulkanizační formy pro výrobu pneumatik a jiné. Tyto odlitky se vyznačují vysokou jakostí povrchu a rozměrovou přesností.

1.1 Všeobecná charakteristika sádry

Sádra

Sádra a další typy síranových pojiv patří mezi vzdušné maltoviny. Základem těchto pojiv jsou různé formy síranu vápenatého (CaSO_4), proto někdy bývá tato skupina označována také jako vápenosíranová pojiva. Nejběžnějším vápenosíranovým pojivem je sádra - anorganické práškové pojivo, získané tepelným zpracováním (tj. částečnou nebo úplnou dehydratací) přírodního nebo umělého sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). [2]

Pojiva

Pojiva jsou anorganické látky, které se vyrábějí zpravidla tepelným zpracováním přirozených surovin vhodného složení. Pojiva jsou látky (směsi látek), které mají schopnost samovolného zpevnování, tím spojují zrnité systémy v pevný kompaktní celek. Do celku mohou pojiva pojmout i výplň (plnivo) = kompozitní materiál. Po smíchání s potřebným množstvím vody vzniká dobře zpracovatelná hmota, která posléze tuhne a tvrdne.

Látky, které jsou pojivy, rozdělujeme: [4]

1. Přímá pojiva – reagují přímo s vodou a v důsledku toho nastává tuhnutí a tvrdnutí (sádra, vápno, cementy)
2. Latentně hydraulická pojiva – systémy (strusky, popílky), které netuhnou a netvrdnou jen s vodou, ale pouze v přítomnosti aktivátorů. Aktivátorem může být CaO nebo křemičitan sodný (vodní sklo).

Z praktického hlediska rozlišujeme dvě hlavní skupiny anorganických pojiv:

1. Technická pojiva - (např. fosfátová pojiva, vodní sklo)
2. Stavební pojiva - maltoviny (např. cement, vápno, sádra) – jsou hlavní funkční součástí malt.

Maltoviny

Prášková pojiva anorganického původu, která se vyrábí výpalem z hornin. Po smíchání s vodou nabývají pastovitý charakter a postupně se vytvrzují za současné změny chemického a mineralogického složení.

- Vzdušné
po rozmíchání s vodou mají schopnost se dále vytvrzovat a být stabilní jenom na vzduchu (vzdušné vápno, sádra a sádrová pojiva, hořečnatá maltovina atd.)
- Hydraulické
mají schopnost se vytvrzovat a být dále stabilní jak na vzduchu, tak i pod vodou (hydraulické vápno a všechny druhy cementů)
- Speciální
žárovzdorná pojiva, pojiva se zvýšenou chemickou odolností, s regulovanou změnou objemu (rozpínavá, těsnící), barnaté cementy atd.

Při výrobě pojiv se používají ještě různé přísady upravující požadované vlastnosti.

- Hydraulické přísady (Pucolány)
Látky, jejichž chemickou a mineralogickou podstatou je amorfni SiO_2 , který je schopný reakce s vápenatými ionty ve vodném prostředí.
- Latentně hydraulické látky (skrytá hydraulická)

Látky, které samy o sobě nemají schopnost tuhnout a tvrdnout, ale tuto schopnost nabývají vlivem jiné látky – budiče (zásadité nebo síranové). [26]

Mezi nejdůležitější vlastnosti pojiv patří *pevnost a pórovitost*.

Pevnost

anorganických pojiv po zatvrdnutí je dána skutečností, že jde o polykrystalické nebo gelové systémy, prostoupené póry. U sádrového pojiva hraje rovněž významnou roli pevnost samotného pojiva, které vytváří kontinuální médium. Výsledná pevnost bude tedy záviset na velikosti, tvaru a rozložení částic a pórů, na charakteru rozhraní mezi elementárními částicemi pojiva a na pevnosti pojiva. [20]

Pevnost u anorganických pojiv je dána Schillerova rovnicí (1).

$$P = q \log \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon}, \quad (1)$$

Kde:

P - pevnost,

q - konstanta dána povahou materiálu,

ε_k - pórovitost sádry s nulovou pevností,

ε - pórovitost,

Pórovitost

je způsobena přebytkem vody, která je potřebná na rozdělení sádry, proti vodě potřebné k hydrataci hemihydrátu - 18,6 g vody na 100 g sádry. [24]

Pórovitost sádry se vypočítá za předpokladu 100% hydratace podle rovnice (2).

$$\varepsilon = \frac{\omega - 0,18}{0,30}, \quad (2)$$

Kde:

ε - pórovitost,

ω - vodní součinitel,

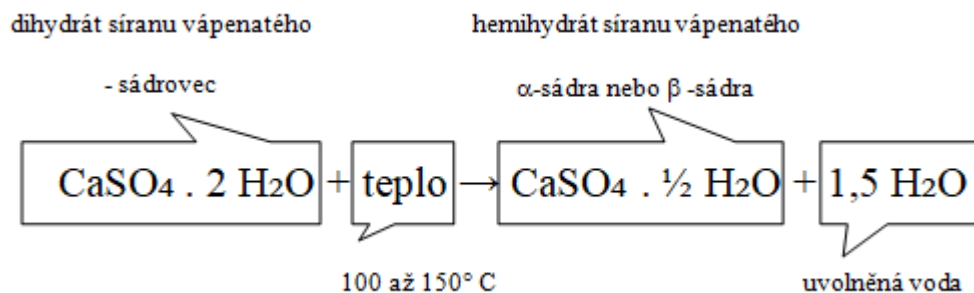
Pórovitost - celkový procentuální objem otevřených i uzavřených pórů v objemové jednotce. [8]

1.2 Výroba sádry

O vlastnostech sádry a sádrových maltovin rozhoduje jejich mineralogické složení. Při výrobě sádry dochází k částečné (*Obr. 1*) nebo úplné dehydrataci (kalcinaci) sádrovce (*Obr. 2*).

Částečná dehydratace sádrovce [3]

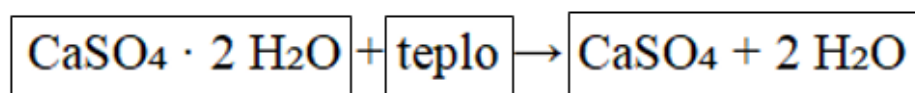
- dochází k ní při teplotách od 110° C do 150° C
- dihydrát se přeměňuje na půlhydrát (hemihydrát)
- podle prostředí, ve kterém dochází k dehydrataci, vzniká α - sádra nebo β - sádra
- α - sádra se vyrábí v prostředí nasyceném vodní párou
- β - sádra se vyrábí v prostředí nenasyceném párou



Obr. 1. Popis vzorce - částečná dehydratace sádrovce

Úplná dehydratace sádrovce [3]

- kalcinací sádrovce za vyšších teplot vznikají různé typy anhydritu
- k úplné dehydrataci dochází při teplotách od 200 °C a vyšších



Obr. 2. Popis vzorce - úplná dehydratace sádrovce

1.2.1 Půlhydrát α - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$

vzniká částečným odvodněním sádrovce v prostředí nasyceném vodní párou (mokrý způsob výroby), při teplotě 115 - 125 °C. Má měrnou hmotnost 2700 až 2760 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

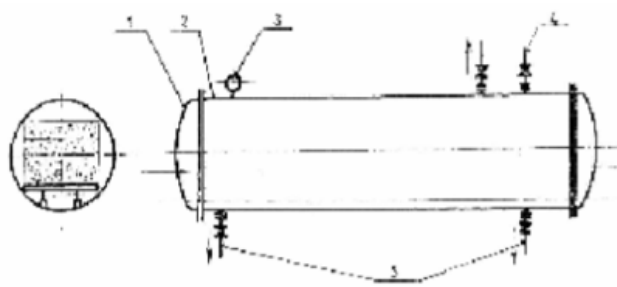
Půlhydrát je krystalický. Při pozorování mikroskopem má zřetelně rozeznatelné obrysy krystalků (*Obr. 3*). Při pozorování pouhým okem se struktura projevuje hedvábným leskem. Jeho krystalky se při přípravě kaše pomalu rozpouštějí. To se projevuje pomalejším tuhnutím a vznikem uspořádanější mřížky dihydrátu, která dává po zatvrdnutí kaše větší pevnosti. [21]



Obr 3. α -hemihydrát síranu vápenatého.

1.2.2 Technologie výroby α – sádry

- Autoklávy - pracují s přetlakem při ± 120 °C. Na hrubě podrcený sádrovec působí v autoklávu tlak 0,13–0,9 MPa, přičemž probíhá dehydratace. Po 10 - 30 hodinách se autokláv (*Obr. 4*) otevře, sádra se nechá pozvolna vysušit, „dozrát“ a nakonec se pomele. Jde o ekonomicky velmi nákladný postup, který ale produkuje nejkvalitnější α – sádru. Nevýhodou je velmi dlouhá dehydratace.



- 1 – víko
- 2 – plášť
- 3 – manometr
- 4 – přívod páry
- 5 – výpustě kondenzátu

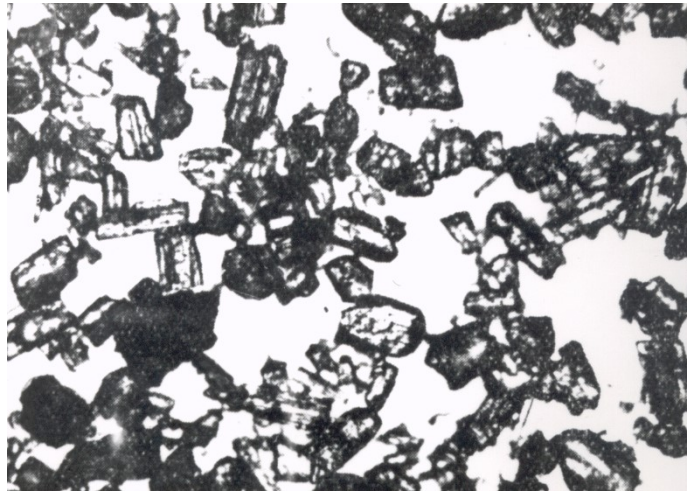
Obr. 4. Autokláv

- Roztoková metoda – dehydratace sádrovce v roztocích některých solí, např. chloridu vápenatého nebo hořečnatého. Proces probíhá v „dehydrátoru“ - nádoba s dvojitým pláštěm, víkem a míchadlem, které pro větší intenzitu udržuje suspenzi ve vznosu. V meziplášti se nachází topná spirála. [7, 19]

1.2.3 Půlhydrát β - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$

vzniká odvodněním sádrovce při teplotě 100 až 160 °C. Voda se uvolňuje ve formě páry, což se projevuje nakypřováním („vaření“ sádry) ve vařících nebo v rotační peci (suchý způsob výroby). Měrná hmotnost β - sádry činí 2630 až 2680 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

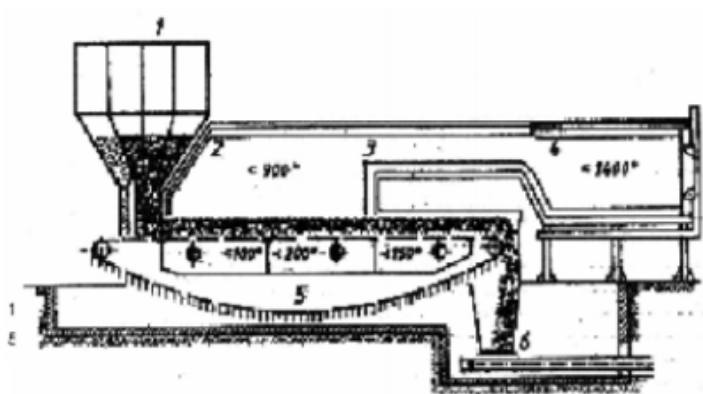
Struktura je vločkovitá, šupinovitá, rozeklaný. Při pozorování mikroskopem nejsou rozeznatelné obrysy ani při velkém zvětšení (Obr. 5). Protože má půlhydrát větší povrch krystalu, je energeticky méně stabilní a ve vodě lépe rozpustný. [21]



Obr 5. β -hemihydrát síranu vápenatého

1.2.4 Technologie výroby β - sádry

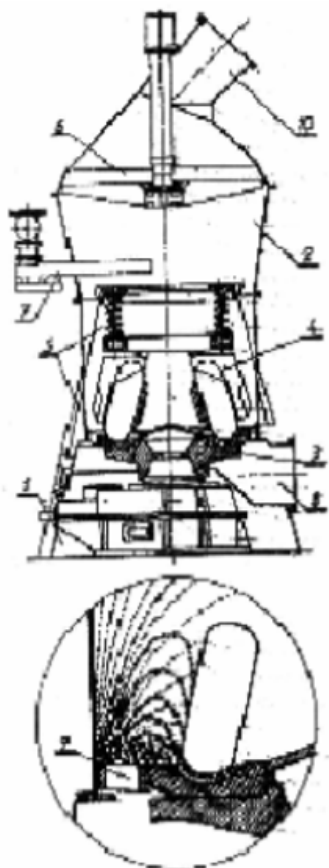
- Výpal sádrovce na roštu – A. N. Knaufa (Obr. 6) – získáváme opět beta modifikaci hemihydrát síranu vápenatého. Spaliny jsou přiváděny spalovací komorou o teplotě $\pm 900^{\circ}\text{C}$ a dále jsou odtahovány exhaustory skrze rošt. [18]



- 1 – zásobník materiálu
- 2 – zóna výpalu
- 3 – sací kanál
- 4 – spalovací komora
- 5 – rošt
- 6 – hřeblový dopravník

Obr. 6 Rošt A. N. Knaufa

- Sušící mlýn – v nichž se sádrovec mele a současně kalcinuje (*Obr. 7*). Tyto mlýny vypalují na nízkou teplotu (300 až 400 °C) nebo na vysokou teplotu (500 až 700°C). [18]

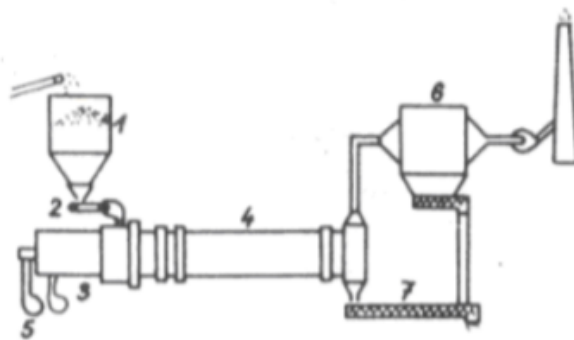


- 1 – převodovka
- 2 – korpus mlýnu
- 3 – otáčivá mlecí deska
- 4 – kotouče
- 5 – přítlačné zařízení
- 6 – separátor
- 7 – podavač materiálu
- 8 – přívod hořících plynů
- 9 – otvor na obvodu mísy pro přívod plynu
- 10 – odvod pomletého materiálu

Obr. 7. Sušící mlýn

- Kalcinace sádrovce v rotačních pecích - výpal se může provádět buď souprůdně nebo protiprůdně.
 - Topení v souprůdu - do pece přicházejí spaliny o teplotě ± 900 °C, při odchodu mají teplotu ± 170 °C.
 - Topení v protiprůdu – do pece přicházejí spaliny o teplotě ± 700 °C, při odchodu mají teplotu ± 100 °C

Rotační pec má průměr 2 m a délku asi 12 m (*Obr. 8*)., otáčejí se rychlostí 1,5 otáček za minutu. Doba průchodu suroviny pecí trvá jen 20 min.



1 – zásobník suroviny

2 – podavač

3 – generátor topných plynů

4 – rotačkový kalcinátor

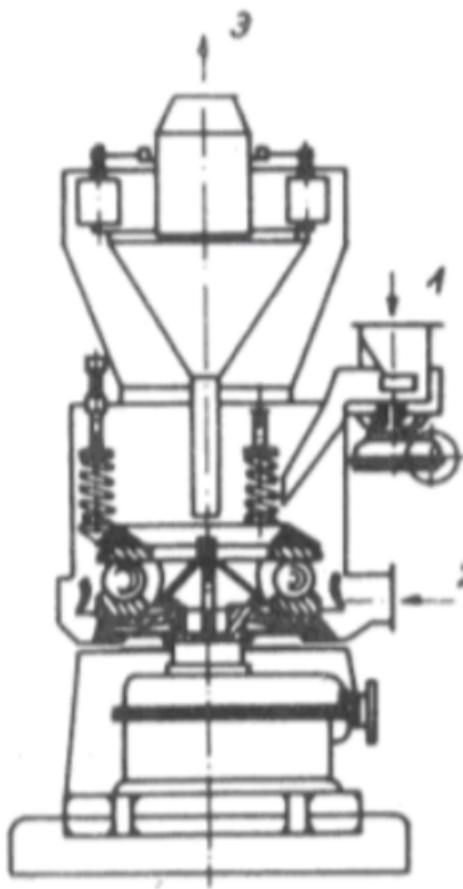
5 – ventilátor pro obíhající ohřívající plyny

6 – zachycovač prachu

7 – odvod sádry

Obr. 8. Rotačkový kalcinátor firmy Bütner-Schilde-Haas

- Kalcinace sádrovce v sušících rotačních pecích (*Obr. 9*) – surovina se zde mele a současně kalcinuje. Topeništěm je přiváděn teplý vzduch o teplotě ± 700 °C. [17]



- 1 – přívod sádrovce
- 2 – přívod horkého plynu
- 3 – odvádění hotového výrobku

Obr. 9. Sušící mlýn systému Claudius-Peters

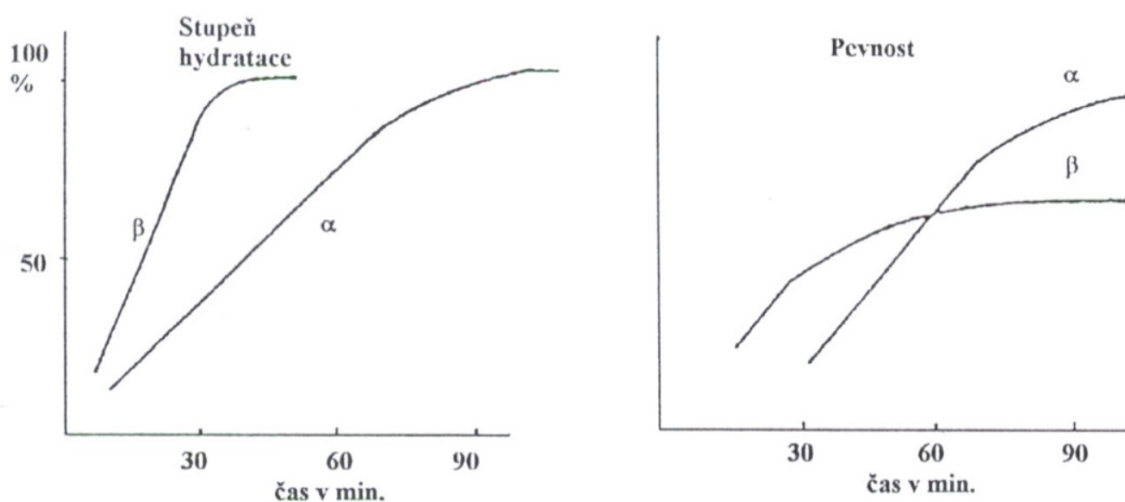
1.2.5 Technologie výroby α a β sádry

- **Vařák** – kovových kotlích o objemu 3 - 15 m³ s míchadlem, plochým dnem a vytápěním zespoda (zevnitř). V němž se pomletý sádrovec za přívodu tepla míchá. Uniká pára, která nakypřuje („vaří“) vznikající sádru. Teplota suroviny dosahuje 130 – 150 °C (jedná se o starší, periodický způsob výroby). [2]

Základní rozdíly mezi α a β - hemihydrátem jsou uvedeny níže (Obr. 10, 11). Hemihydrátová sádra je základem rychle tuhoucích druhů sádrových pojiv.

vlastnost	α hemihydrát	β hemihydrát
teplota vzniku (°C)	115	107
teplota dehydratace (°C)	200 - 210	170 - 180
hustota ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2,72 - 2,73	2,67 - 2,68
velikost částic (μm)	10-20	1-5
porosita částic	není porézní	je porézní
měrný povrch	menší	větší
doba dehydratace podle vývinu tepla (min.)	17 - 20	7 - 12
objemové zvětšení (střední)	0,0028	0,0016
začátek tuhnutí (min.)	6,5	24
doba tuhnutí (min.)	9	30
pevnost v tahu za ohybu po 1 hod. $v/s = 0,7$ (MPa)	4,2	2,6
pevnost v tahu za ohybu po 1 hod. $v/s = 1,7$ (MPa)	2,4	1,6
pevnost v tahu za ohybu po vysoušení $v/s = 0,7$ (MPa)	6,2	4,2
pevnost v tahu za ohybu po vysoušení $v/s = 1,0$ (MPa)	3,6	2,6
pevnost v tlaku po 1 hod. $v/s = 0,7$ (MPa)	8,4	6,0
pevnost v tlaku po 1 hod. $v/s = 1,0$ (MPa)	4,7	3,2
pevnost v tlaku po vysoušení $v/s = 0,7$ (MPa)	15,5	12,6
pevnost v tlaku po vysoušení $v/s = 1,0$ (MPa)	9,6	7,0

Obr. 10. Porovnání α a β - hemihydrátu



Obr. 11. Srovnání průběhu hydratace a nárůstu pevnosti u α a β - sádry

1.2.6 CaSO_4 III

Kalcinací sádrovce za vyšších teplot vznikají různé typy anhydritu. Jako první vzniká anhydrit III, který má opět dvě formy - α a β - podle toho, zda vznikl z α nebo β - hemihydrátu.

- **Anhydrit α - CaSO_4 III**

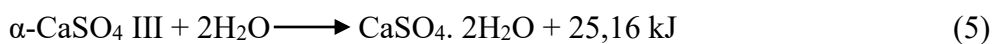
Vzniká z α -hemihydrátu zahříváním na 200 – 210 °C:



Při hydrataci se uvolňuje hydratační teplo:



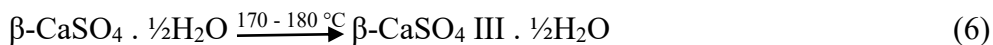
Rovnice hydratace CaSO_4 III:



Měrná hmotnost α -hemihydrátu je 2600 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-3}$.

- **Anhydrit β - CaSO_4 III**

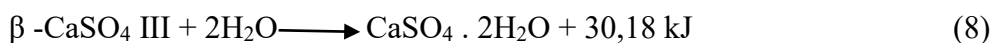
vzniká také úplným odvodněním ve vakuu při teplotě blízké 100 °C nebo žiháním při teplotě 170 až 180 °C za normálního tlaku:



Při hydrataci se uvolňuje hydratační teplo:



Rovnice hydratace CaSO_4 III:



Měrná hmotnost β -hemihydrátu nabývá $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Obě formy anhydritu III jsou nestálé (rozpustné) a přeměňují se zpětně na hemihydrát, a to i působením vzdušné vlhkosti. Uvedené modifikace anhydritu III se v přírodě nevyskytují, tvoří však součást rychle tuhnoucí sádry (*Obr. 12, 13*).

1.2.7 CaSO_4 II

Anhydrit III přechází po zahřátí $200 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ na anhydrit II:



Podle stupně zahřátí se rozlišují:

- **anhydrit II-T** – je slabě rozpustný, vzniká při teplotě výpalu $200 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$, jeho reakce s vodou s rostoucí teplotou výpalu klesá,
- **anhydrit II-N** – nerozpustný, vzniká při teplotě $300 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$, s vodou reaguje velmi pomalu,
- **anhydrit II-E** (tzv. estrichová sádra), je vysokoteplotní modifikací CaSO_4 , která vzniká při teplotě výpalu nad $600 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy se již část AII rozpadá na CaO a SO_2 . Schopnost reakce s vodou je minimální. [25]

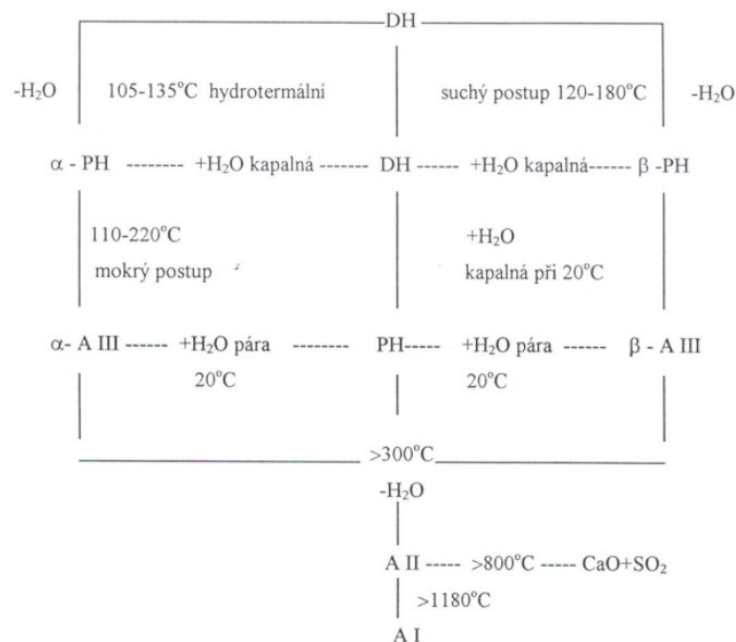
1.2.8 CaSO_4 I

Anhydrit II je jedinou modifikací bezvodého CaSO_4 , která je za normálních (přírodních) podmínek stabilní. Při zahřívání nad $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ přechází anhydrit II v **anhydrit I - CaSO_4** , který však vždy obsahuje volný CaO – asi 2-3 %. Anhydrit I je nestabilní.

Při ochlazení pod $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ přechází zpět na anhydrit II: [25]



hydratační stupeň	označení	symbol	krystalová soustava	termodynamická stabilita	výskyt v přírodě
anhydrit CaSO_4	vysokoteplotní anhydrit	A-I	krychlová	> 1180 °C	ne
anhydrit CaSO_4	nerozpustný anhydrit	A-II	kosočtverečná	< 1180 °C	anhydrit
anhydrit CaSO_4	rozpustný anhydrit	A-III α, β - forma	šesterečná	metastabilní	ne
hemihydrát $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	α -hemihydrát	α -PH	kosočtverečná	metastabilní	ne
hemihydrát $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	β -hemihydrát	β -PH	kosočtverečná	metastabilní	ne
dihydrát $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	sádrovec	DH	jednoklonná	< 45 °C	sádrovec

 Obr. 12. Základní fáze systému $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ a jejich vlastnosti

 Obr. 13. Schéma dehydratace sádrovce a vznik jednotlivých fází v systému $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

1.3 Rozdělení sádry

V praxi rozdělujeme sádro podle mnoha hledisek, např. podle stupně pálení sádrovce, doby tuhnutí, jemnosti mletí, běloby atd. Podle technologických vlastností sádro rozdělujeme do čtyř skupin:

- sádra rychle tuhnoucí
- sádra pomalu tuhnoucí

c) sádrové maltoviny, modifikované přídavkem přísad nebo příměsí,

d) anhydritové pojivo

a) Sádra rychle tuhnutí - skládá se především z hemihydrátu (α i β) a menšího množství anhydritu III (α i β). Získává se pálením sádrovce při teplotě 107 - 200 °C. Jde o půlhydrát síranu vápenatého a určité množství anhydritu, které způsobuje rychlé tuhnutí nerozloženého sádrovce a cizích příměsí.

K rychle tuhoucím druhům sádry patří:

- sádra modelářská, která obsahuje asi 90% půlhydrátu,
- sádra alabastrová, která obsahuje 90% půlhydrátu, 4% anhydritu a 2% dihydrátu,
- sádra omítková, která je tvořena pouze půlhydrátem.

b) Sádra pomalu tuhnutí - sádra stavební. Tvoří ji anhydrit I a II (asi 80 %), volné CaO (do 5 %) a hemihydrát (asi 15 %). Tuhnutí začíná u této sádry za 2 až 5 hodin a končí většinou za 9 až 12 hodin, ale může trvat i 40 hodin. Označuje se také jako sádra hydraulická. Vyrábí se pálením sádrovce při teplotě 800 - 1000 °C.

c) Modifikovaná sádra - je tvořena v podstatě půlhydrátem α .

d) Anhydritové pojivo - je tvořeno anhydritem nebo anhydritem II a obsahuje malé množství přísad, které zlepšují konečné vlastnosti.

1.4 Sádra pro slévárenské účely

Nejdůležitější mechanickou vlastností sádry je pevnost v tlaku. Důležitá je závislost hodnot pevnosti v tlaku na vodním součiniteli ω . Povrchová pevnost kvalitních sáder dosahuje pevnost až 130 MPa. Po ztuhnutí narůstá tvrdost rychleji než pevnost, protože povrchové vrstvy sádry rychleji vysychají.

Reprodukční schopnost některých druhů sáder dosahuje až 50 μ m drsnosti povrchu. [14]

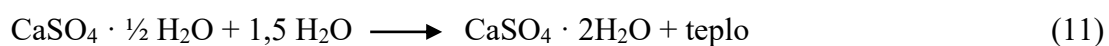
Vlastnosti sádry značně klesají podle způsobu výroby a jejich účelu, proto je interval velmi široký. Vlastnosti některých druhů sádry jsou uvedeny níže (Tab. 1).

Tab. 1. Vlastnosti některých druhů sádry.

VLASTNOST	DRUH SÁDRY		
	<i>Rychle tuhnoucí</i>	<i>Pomalu tuhnoucí</i>	<i>Anhydritové pojivo</i>
Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	2,7.10 ⁻³	2,9. 10 ⁻³	2,9. 10 ⁻³
Sypká hmotnost [kg.m ⁻³]	1,1. 10 ⁻³	1,2. 10 ⁻³	1,0. 10 ⁻³
Velikost částic [mm]	0,2	0,2	0,09
Začátek tuhnutí [s]	240 – 480	~18000	~15000
Množství rozdělané vody [hmotnost. %]	40 – 80	25 – 35	25 – 35
Pevnost v tlaku [MPa]	130	30	28
Objemová změna při tuhnutí [objem. %]	1	nepatrné smrštění	nepatrné smrštění

1.5 Tuhnutí a tvrdnutí sádry

Stejně jako dehydratace sádrovce je i zpětná hydratace sádry z chemického hlediska velmi jednoduchou reakcí. Hemihydráty či anhydrity přecházejí zpět na dihydrát jako konečný produkt hydratace. Jedná o složitý krystalizační proces s přímými důsledky na vlastnosti zatuhlého produktu. [3]



Při tuhnutí a tvrdnutí sádry rozlišujeme tyto hlavní děje:

- rozpouštění hemihydrátu
- nukleace dihydrátu
- růst krystalů dihydrátu.

Tyto děje limitují rychlost hydratace a tím zpevňování, které postupuje souběžně s hydratací. Na rozdíl od většiny maltovin se tuhnutí sádry zpomaluje s rostoucí teplotou. Je to způsobeno tím, že se stoupající teplotou silně klesá rozpustnost půlhydrátu, zatímco rozpustnost dihydrátu je zhruba stejná. Tím se snižuje rozdíl rozpustnosti mezi oběma látkami a klesá možnost přesycení, které je příčinou vzniku zárodečných nukleí dihydrátu. Nedostatek krystalizačních center je tedy příčinou zpomalování tuhnutí. Tuhnutí je vždy doprovázeno zvětšením objemu a uvolněním tepla, které se rovná součtu rozpouštědel hydratačního tepla. [13, 14]

K důležitým parametrům při zpracování sádry patří:

- začátek, rychlost a doba míchání,
- začátek a konec tuhnutí,
- **doba tuhnutí,**
- doba tvrdnutí,
- doba odlévání sádrové směsi,

Na rychlost tuhnutí sádrové směsi má vliv množství činitelů:

- vlastní výrobní postup,
- míchání sádry s vodou,
- vodní součinitel $[\omega]$,
- teplota sádrové směsi,
- některé chemikálie ovlivňující tuhnutí.

Pro obě formy půlhydrátu (hemihydrátu) platí, že čím je sádra jemnější, tím tuhne rychleji, protože se snadněji rozpouští. Pórovité a jemnější vločky β -půlhydrátu přijímají více vody a rozpouštějí se rychleji, než celistvé krystaly α -půlhydrátu.

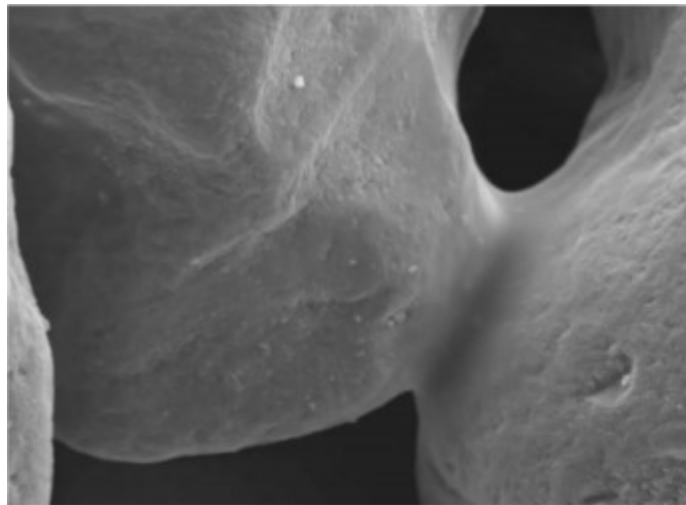
Čím více sádrovou směs mícháme, tím rychleji tuhne. Mícháním se podporuje rozpouštění sádry ve vodě, a tím i celkové tuhnutí. Zrychlení tuhnutí způsobené delším mícháním je patrné níže (Tab. 2).

Tab. 2. Vliv míchání sádry na dobu tuhnutí (sádra alabastrová).

Doba míchání [s]	Tuhnutí [min]		Rozdíl mezi začátkem a koncem tuhnutí [min]
	Začátek	Konec	
15	14,3	17,6	3,3
30	12,5	15,3	2,8
45	11,5	14,2	2,7
60	11,1	13,9	2,8
75	9,3	11,6	2,3
90	8,0	9,5	1,5
105	5,5	7,2	1,7

2 SÁDROVÉ FORMOVACÍ SMĚSI

Základními složkami každé formovací směsi je ostřívo, pojivo - vytváří spojovací můstky mezi zrny ostřiva (*Obr. 14*), může obsahovat vodu, případně přísady, které zlepšují vlastnosti formovací směsi, jako například rozpadavost po odlití nebo povrchovou jakost. Do sádrových forem se odlévají složité modely slitin hliníku, mosazí, bronzů, případně jiných vhodných kovů. Hladké odlitky dosahují přesnosti $\pm 0,2$ na 300 mm.



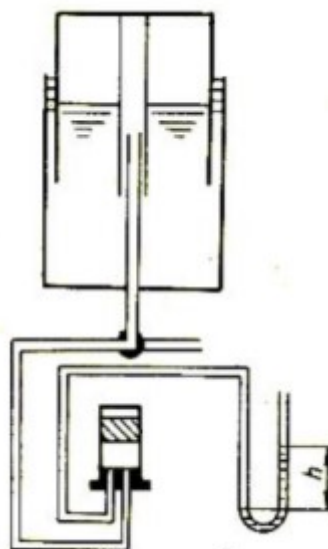
Obr. 14 Pojivový můstek

Rozdělení formovacích směsí: [9, 22]

- Podle jejich použití
 - Modelová formovací směs
 - Výplňová (vratná) formovací směs
 - Jádrová formovací směs
 - Jednotná formovací směs
- Podle obsahu vody
 - Bezvodé směsi
 - Polosuché směsi
 - Bentonitové směsi

U formovacích a jádrových směsí je požadován určitý soubor vlastností, které se uplatňují při použití jakékoliv směsi a metody výroby forem a jader: [22]

- homogenita technologických vlastností – v celém objemu musí být směs stejná,
- životnost směsi – určuje dobu, po kterou má směs potřebné technologické vlastnosti,
- tekutost směsi – určuje schopnost pohybu směsi ve směru kolmém k působením vnějších sil,
- spěchovatelnost směsi – určuje schopnost pohybu směsi ve směru působení přechovací síly,
- formovatelnost – určuje schopnost tečení směsi a přechování se v celém objemu působením vnější síly,
- houževnatost – je to vlastnost směsi překonání odporu proti přetvoření při vyjímání modelu z formy,
- lepidivost – mezi modelem a směsí musí být minimální adhezní síly,
- manipulační pevnost – vlastnost všech formovacích směsí,
- tvrdost forem – je sledována u směsí na syrovo,
- otěruvzdornost – měří se u forem s nátěry, ale i bez nátěrů,
- navlhavost – přijímání vzdušné vlhkosti můžeme sledovat u většiny směsí,
- mechanická pevnost – odolnost proti namáhání proudícím kovem,
- pevnost v tahu v kondenzační zóně – odolnost proti zálupům,
- prodyšnost – schopnost směsi propouštění plynů a par při plnění formy tekutým kovem. Schéma měřicího přístroje (*Obr. 15*),
- plynatost – udává množství tvorby plynů a par při lití,
- objemové změny při lití – důležité při tvorbě zálupů,
- odolnost proti erozi – při protékání kovu,
- rozpadavost – schopnost rozpadnutí směsi po určité době působení tepla kovu.



Obr. 15. Schéma přístroje na měření prodyšnosti

2.1 Vlastnosti sádrových formovacích směsí

Vlastnosti sádrových formovacích směsí určuje nejen jakost sádry, ale i řadu dalších formovacích přísad. Sádra tvoří v sádrových formovacích směsích hydraulické (hydratační) pojivo. Sádrrou se může vázat směs křemenného písku, který tvoří ostřivo a dalších přísad, např. portlandského cementu (tzv. p-cementu), slídy atd. Obsah sádry ve formovací směsi se pohybuje od 25 do 65% hmotnostních.

Sádra je z části dehydratovaná síranem vápenatým, nabírá krystalickou vodu a mění se na krystalický dihydrát síranu vápenatého. Velmi jemné krystalky sádry vzájemně prorůstají a vážou celek do kompaktní hmoty. Složením směsi lze v omezené míře měnit její technologické vlastnosti, zejména pevnost. Sádrové směsi mohou obsahovat různé regulátory tuhnutí, které se dají rozdělit do pěti skupin. [14, 15]

- Do první skupiny patří silné a slabé elektrolyty a některé neelektrolyty, které mění rozpustnost půlhydrátu a dihydrátu, ale nevytvářejí na jejich částicích špatně rozpustné filmy. (NaCl, KCl a síran sodný urychlují tuhnutí; hydroxid amonný a etylalkohol tuhnutí zpomalují.)
- Do druhé skupiny přísad patří látky vytvářející krystalizační zárodky (sádrovec, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - zpomalují tuhnutí).

- Třetí skupinu tvoří látky povrchově aktivní, schopné absorpce na půlhydrátech a sádrovcích, které zpomalují tvorbu krystalizačních zárodků (sulfitové výluhy, keratinové a karboxymetyl-celulózoové zpomalovače).
- Do čtvrté skupiny patří látky vytvářející na částicích půlhydrátu účinné, těžko rozpustné filmy (fosforečnany a boritany alkalických kovů, kyselina boritá a jiné).
- Do páté skupiny se řadí přípravky obsahující směs látek z některých uvedených skupin (např. elektrolyty a látky povrchově aktivní).

Další působení různých přísad je uvedeno níže. (Tab. 3).

Tab. 3. Přísady ovlivňující sádrové směsi.

Přísada	Vliv
<i>Křemenná moučka</i>	zmenšuje objemové změny sádrových směsí při tuhnutí
<i>Mastek, vápno, cement, křemičitý písek</i>	ovlivňuje objemové změny
<i>vodní sklo alkalické</i>	zvyšuje pevnost a odolnost forem proti otěru
<i>hlinitan vápenatý (2,5 - 12 %) oxid zinečnatý</i>	zpomalují tuhnutí a zvyšují pevnost formy
<i>K₂SO₄, vínan sodnodraselný (Seignettova sůl), citrany, boraxy</i>	účinně snižují expanzi sádry
<i>Bromid amonný</i>	při vypalování forem se rozkládá na plynné látky, čím se zvyšuje prodyšnost forem
<i>Portlandský cement</i>	zvyšuje pevnost sádrové směsi

2.2 Metoda napěněné směsi

Základními hledisky při hodnocení jsou přesnost rozměrů po vysušení, hladkost povrchu a odolnost proti praskání při sušení, dostatečná pevnost a prodyšnost, minimální vývin plynů

při lití směsi, atd. Uvedené požadavky lze zajistit pouze speciálními technologickými postupy přípravy sádrové směsi, např. metoda napěněné směsi.

Princip metody napěněné směsi je založen na poznatku, že přísada malého množství povrchově aktivní látky do směsi, způsobí při míšení napěnění sádrové hmoty. Zvyšuje se tekutost směsi při obvyklé vlhkosti, po ztuhnutí dostáváme formovací hmotu prostoupenou množstvím bublinek navzájem spojených mikro kanálky tak, že forma dosahuje značné prodyšnosti až 150 n. j. p. [20]

Pěnotvorné látky se přidávají buď do suché směsi, nebo do tekuté sádrové směsi ve formě předem upravené pěny. Podle toho, jakým stylem a v jaké formě se pěnotvorné látky přidávají, dělí se technologická příprava sádrové směsi na přípravu jednofázovou a dvoufázovou (Tab. 4).

Tab. 4. Přehled napěňovadel sádrových směsí. (1FP - jednofázová příprava, 2FP - dvoufázová příprava).

Forma napěňovadla	Napěňovadlo přidávané do		
	vody	suché sádrové směsi	tekuté sádrové směsi
Prášek	1FP	1FP	
Kapalina	1FP		
Pěna			2FP

3 ZKOUŠKY NA SÁDROVÝCH SMĚSÍCH

Z hlediska velikosti, tvaru a konečných rozměrů prakticky nelze vytvořit zcela dokonalý odlitek. Z toho vyplývá, že nelze vyrobit dva odlitky naprosto stejné. Na výkresech se tak uvádí tolerance. I přesto se odlitky vyznačují velmi dobrou a vysokou hladkostí povrchu a výbornou reprodukcí nejjemnějších detailů. Mezi vlivy, které ovlivňují přesnost odlitků, se řadí:

- přesnost formy a modelového zařízení,
- technické provedení,
- použitá sádrová směs,
- fyzikální a technologické vlastnosti formy i odlévaného kovu atd.

Použitá technologie výroby má vliv na vztah mezi rozměry modelového zařízení a konečnými rozměry odlitku.

3.1 Vstupní zkoušky sádry

Mezi tyto zkoušky patří:

- Stanovení zrnitosti, resp. jemnosti mletí
- Stanovení běžné hustoty
- Stanovení doby tuhnutí
- Stanovení pevnosti v ohybu po dvou hodinách tuhnutí
- Stanovení pevnosti v tlaku po dvou hodinách.

Tyto zkoušky souvisejí s normami "Sádrové pojiva" ČSN 72 2301 a PN-86 / B-04360. [16]

4 ZKOUŠKY NA SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍCH

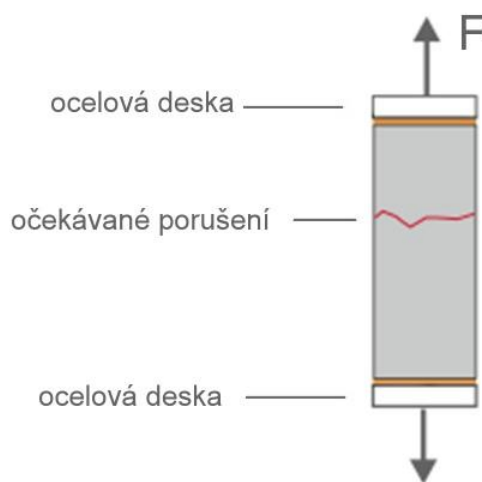
Vzorky na tyto zkoušky se připravují odléváním sádrové kaše do předem separovaných jádřinců. Jako separátor lze použít olej, vazelínu, motorovou naftu apod.

Ihned po vysušení jsou vzorky podrobeny zkoušce tahu, ohybu a prodyšnosti. Vyhotovují se tyto vzorky (interní materiály):

- Zkušební váleček o průměru ϕ 50 mm a výšce 50 mm \pm 0,3 mm. Používá se na zkoušení pevnosti v tlaku zasyrova, po vysušení na stanovení prodyšnosti, objemové váhy po upěchování a tekutosti.
- Zkušební osmička pracovního průřezu 22,4 mm x 22,4 mm, t.j. $5 \cdot 10^{-4}$ m² pro zjišťování pevnosti v tahu po vysušení.
- Zkušební hranol na zkoušení pevnosti směsi v ohybu o rozměrech 22,4 mm x 22,4 mm pracovního průřezu $5 \cdot 10^{-4}$ m²

4.1 Tahová zkouška

Zkušební vzorky se odlíjí ze směsi do předem připravených forem. Zkoušejí se nejméně tři vzorky, ihned po vysušení a výsledkem je aritmetický průměr. Tah se zvětšuje plynule a rovnoměrně tak, aby napětí přibývalo o 100 kPa za minutu. Pokud se liší dvě ze zjištěných výsledků více než o 5% od vypočítaného průměru, zhotoví se tři nové válečky ze stejné směsi a měří se znovu. Výsledky dvou měření se mohou lišit maximálně o 7% od aritmetického průměru (*Obr. 16*).



Obr. 16. Tahová zkouška

4.2 Ohybová zkouška

Po tepelném zpracování se tělíska nechají chladnout na vzduchu pět minut a pak se vloží do exsikátoru. Po 1 hodině od vyjmutí tělísek ze sušičky se stanoví pevnost v ohybu. Zjišťuje se zatěžováním zkušebního tělíska a je dána zatížením, při kterém nastává jeho porušení. Zatížení se zvětšuje asi o 0,5 MPa za sekundu. Pevnost v ohybu je dána vzorcem (12).

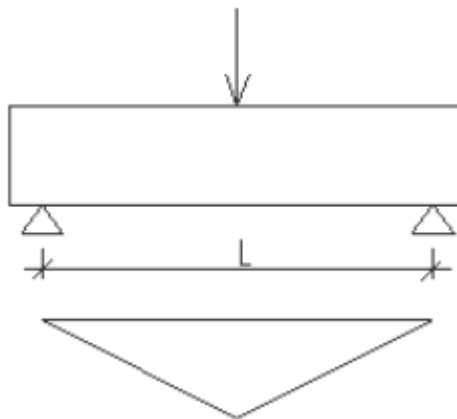
$$\sigma_o = 0,2F \text{ [MPa]} \quad (12)$$

Kde:

σ_o - je výsledná pevnost v ohybu [MPa]

F - zatěžující síla [N]

Pro každé stanovení se zhotoví pět zkušebních tělísek. Z naměřených hodnot pro pevnost v ohybu se vezmou tři nejvyšší hodnoty a z nich se vypočítá průměr. Vypočtený průměr se nesmí lišit od tří nejvyšších hodnot více než o 5%. Výsledky dvou souběžných stanovení se nesmí lišit více než o 10% (Obr. 17).



Obr. 17. Vzorek na ohybovou zkoušku.

4.3 Zkouška prodyšnosti

Princip metody spočívá ve zjištění schopnosti směsi propouštět plyny a páry. Zjišťuje se na zkušebních válečkách o průměru ϕ 50 mm a výšce 50 mm \pm 0,3mm, které se upěchují ze zkušební směsi. Pěchování válečků se provádí do kovových pouzder (kalibrů) na speciálním pěchovadle, které zaručuje konstantní napěchování zkušebních vzorků. Zkušebním vzorkem prochází pod určitým tlakem vzduch a jeho množství, které prochází válečkem za určitou dobu, udává prodyšnost formovací směsi. V praxi se užívá normální jednotka prodyšnosti n.j.p., další je jednotka prodyšnosti SI j.p. SI definovaná jako 10^{-8} násobek základního rozměru. [5]

Vztah pro určení prodyšnosti:

$$P = \frac{V \cdot h \cdot 60}{S \cdot p \cdot t} \cdot 1,65 \quad (13)$$

Kde:

P - prodyšnost formovací směsi [n.j.p.]

V - objem vzduchu prošlý vzorkem [mm³]

h- výška zkušebního válečku [mm]

S - plocha příčného průřezu zkušebního vzorku [mm²]

p- tlak vháněného vzduchu [Pa]

t- čas potřebný pro průchod vzduchu vzorkem [s]

4.4 Tlaková zkouška

Pevnost v tlaku je definovaná jako zatížení [kN], při kterém nastane porušení zkoušeného válečku - vztaženo na jednotku plochy tohoto válečku. Pevnost v tlaku se zjišťuje na zkušebních vzorcích tvaru válečku o průměru 50 mm a výšce 50 mm, \pm 0,3 mm a je dána nejvyšším napětím v tlaku, při kterém nastává porušení. Zkušební váleček vytlačeny z pouzdra (zpravidla po stanovení prodyšnosti) se ihned vloží mezi přesně souběžné plochy tlakových čelistí přístroje. Jedna z těchto čelistí se uvede do pohybu tak, aby se tlak na

váleček zvyšoval plynule, rovnoměrně a bez nárazů určitou rychlostí. V okamžiku porušení válečku se zjistí tlak na stupnici přístroje.

Pokud se liší dvě ze zjištěných hodnot více než o 5% od vypočítaného průměru, zhotoví se nové 3 zkušební vzorky z téže směsi a pevnost v tlaku se zjišťuje znovu. Výsledky dvou laboratorních měření se mohou lišit maximálně o 5% od aritmetického průměru (*Obr. 18*).

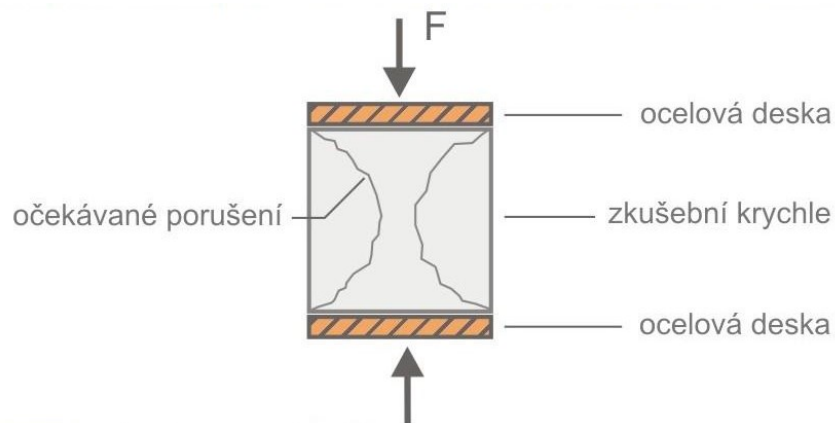
Vzorec pro výpočet pevnosti:

$$P = F / S \text{ [kPa]} \quad (14)$$

Kde: P – tlak [kPa]

F – zatěžující síla [N]

S – plocha [m²]



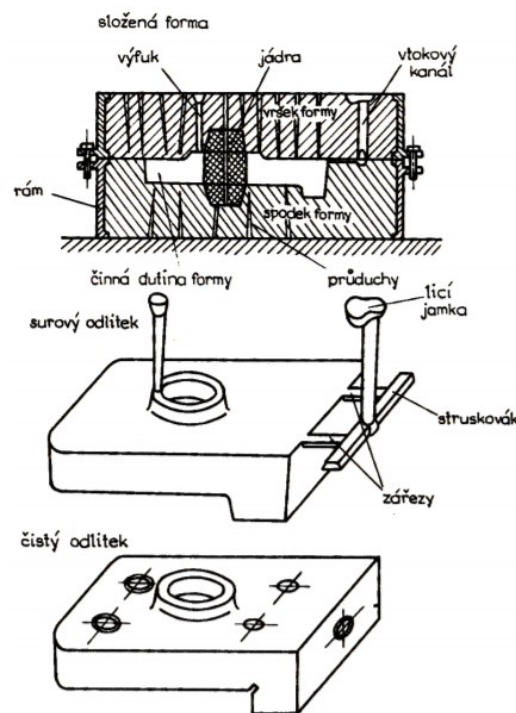
Obr. 18. Tlaková zkouška

5 VÝROBA ODLITKU

Slévárenskou technologií se vyrábí kovové součásti odléváním roztaveného kovu do forem. Vzniká odlitek (*Obr. 19*). Sléváním se vyrábí předměty velmi složitých tvarů, s různými tloušťkami stěn a odlitky s komplikovanými vnitřními dutinami. Vytváření výrobku tekutým kovem dává možnost vyrábět i součástky, které jinou technologií zhotovit nelze. Hmotnost odlitků se pohybuje v rozmezí několika gramů až mnoha tun.

Odlitek získaný ztuhnutím kovu ve formě je buď hotový výrobek, nebo se dále mechanicky obrábí.

- **Surový odlitek** – odlitek, který se po odlití a ztuhnutí vyjme z formy
- **Hrubý odlitek** – odlitek dopravený do čistírny, kde je zbavený nálitků, výfuků, jader a povrchových nečistot
- **Čistý odlitek** – od hrubého se liší přídatky na obrábění



Obr. 19. Proces výroby odlitku.

Materiálem odlitků jsou buď slitiny železa, nebo neželezné kovy. Mezi vlastnosti slévárenských materiálů patří slévatelnost a dobrá zabíhavost.

- **Slitiny železa:**
 - Šedá litina
 - Tvárná litina
 - Bílá litina
 - Temperovaná litina
 - Ocel na odlitky
- **Neželezné kovy:**
 - Slitiny těžkých kovů
 - Litiny lehkých kovů
- **Modelové zařízení:**
 - Modely
 - Formovací materiál
 - Formovací rám
 - Jádro

6 SLÉVÁRENSKÁ FORMA

Výroba formy je souhrn více operací, tzv. „formování“, které je třeba provést, abychom vyhotovili formu, do níž je možné nalít např. tekutý kov.

6.1 Kovové formy

pokud se používají trvalé formy (kokily), tak jsou převážně kovové nebo grafitové.

- Kovové – litinové formy – používají se k odlévání mosazi, bronzu
- Ocelové formy – na hliník
- Měděné formy – neželezité slitiny

Výhodou je vysoká pevnost, znovupoužitelnost formy, rychlé ochlazování a snadná vyjimatelnost odlitku. [12]

6.2 Grafitové formy

Grafitové formy se díky vysoké tepelné vodivosti užívají u součástí masivních rozměrů pro vysokou jakost odlitku. Použití dle odlévaného materiálu se pohybuje v rozmezí 10 – 100 opakování. Dochází k tomu z důvodu otěru grafitu při vyjímání odlitku, nebo neopatrnou manipulací.

6.3 Gumové (silikonové) formy

Využívají se například pro hliníkové a hořčíkové slitiny, pro odstředivé odlévání zinku. Výsledkem jsou prototypy a drobné součástky. Tolerance jsou vlivem vlastností silikonu horší, pohybují se v rozmezí 0,5-0,8 % rozměru oproti přibližně 0,2 % v případě kovové formy. Jako dělicí a izolační vrstva mezi formou a litym materiálem se používá speciálních keramických hmot, nebo nátěry založené na silikátové bázi. [11]

Podle počtu odlitků, které lze odlít z jedné formy rozlišujeme formy:

- Netrvalé – k odlití jednoho odlitku
- Polotrvalé – k odlití několika odlitků
- Trvalé – k odlití velkého počtu odlitků (sériová výroba). Tyto formy jsou většinou kovové

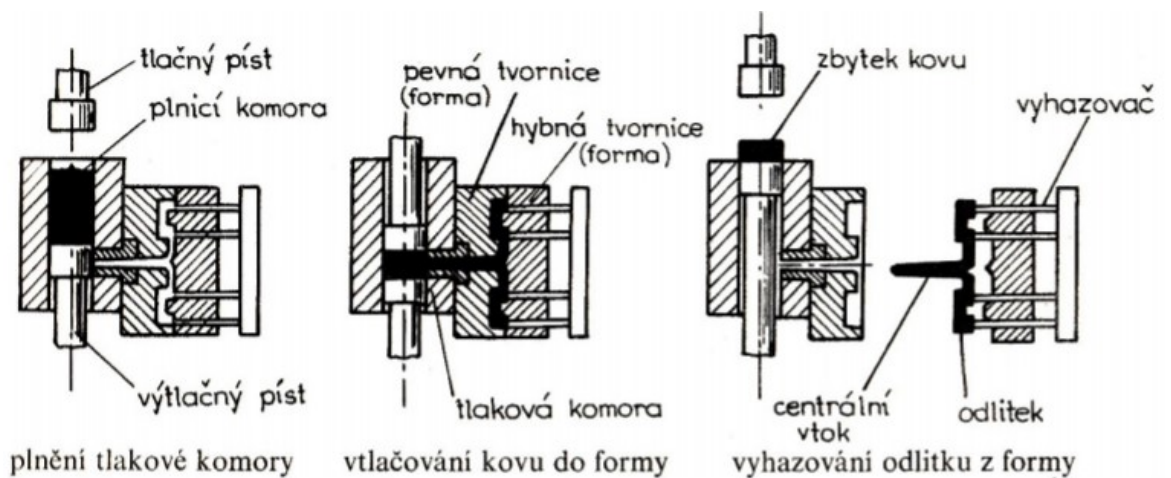
7 LITÍ SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN

Mezi metody výroby odlitku patří:

- lití pod tlakem,
- lití odstředivé
- lití do skořepinových forem
- přesné lití
- lití sklopné

7.1 Lití pod tlakem

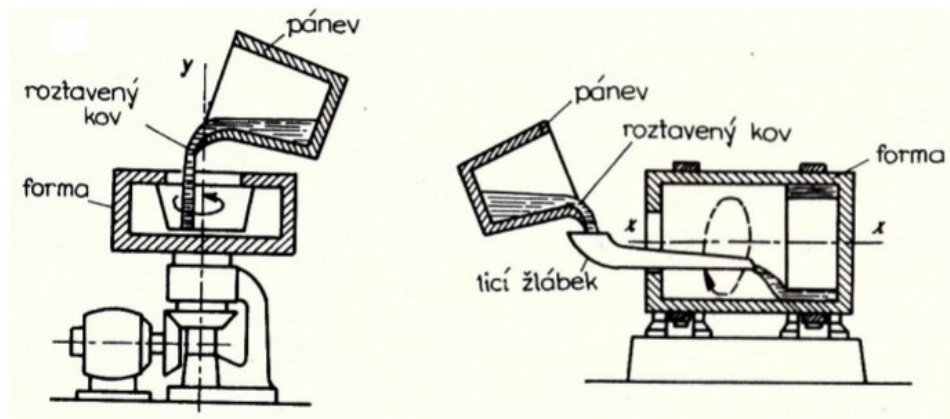
- Při tlakovém lití je tavenina vtlačovaná pod velkým tlakem a rychlostí do několikadílné vyhřívané kovové formy. Velký tlak zajišťuje zatečení taveniny i do členitých forem pro tenkostěnné odlitky. Používá se v sériové a hromadné výrobě, u tenkostěnných odlitků ze slitin neželezných kovů (*Obr. 20*).



Obr. 20. Lití pod tlakem.

7.2 Lití odstředivé

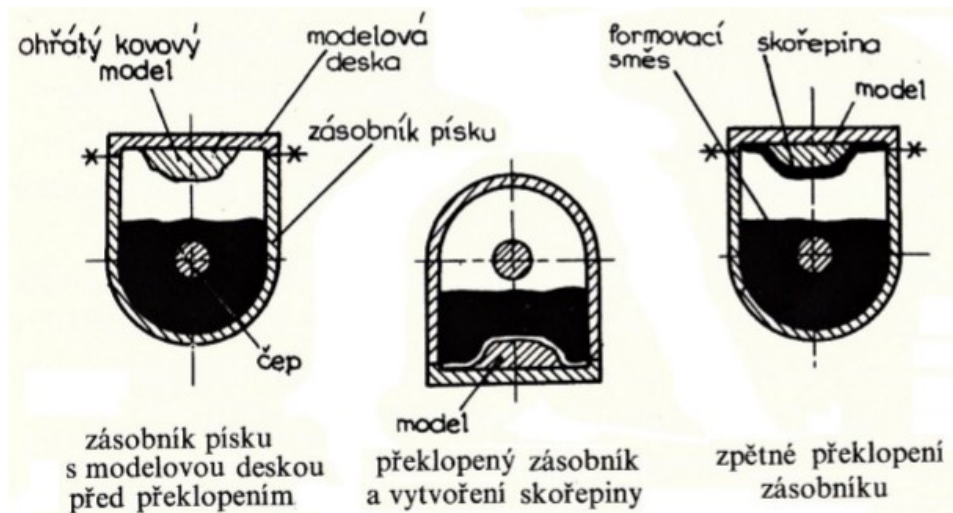
Výroba odlitků, při níž je kov přitlačován odstředivou silou ke stěnám formy a stejnoměrně se rozděluje po celém vnitřním povrchu (*Obr. 21*). Vlivem odstředivé síly vznikne jemnozrnná struktura. Otáčky se mění v rozsahu 300 až 2000 1/min. [23]



Obr. 21. Lití svislé a vodorovné.

7.3 Lití do skořepinových forem

Na kovový zahřátý model je nanášena pryskyřice s pískem – vznikne tenká skořepina, která vytvoří tvar budoucího odlitku. Po vytvrzení se skořepina oddělí od modelové desky. Dvě poloviny skořepiny se složí a spojí sešroubováním nebo slepením. Vytvoří se tak dutina pro budoucí odlitek (Obr. 22).



Obr. 22. Lití svislé a vodorovné.

7.4 Přesné lití

Voskový model se namočí do obalovací hmoty a zasype křemičitým pískem. To se několikrát opakuje, až se vytvoří pevná skořepina. Po ztuhnutí se vosk vytaví a do vzniklé dutiny se může lít roztavený kov. [10]

7.5 Lití sklopné

Roztavený kov v pánvi po překlopení zaplní formu, čímž se vytvoří budoucí odlitek. Ve sklopné peci se pak kov taví elektrickým obloukem mezi dvěma uhlíkovými elektrodami uprostřed tavícího prostoru.

8 VÝROBA FOREM CONTINENTAL

Divize VFC v Otrokovicích má dlouhou tradici ve výrobě forem pro vulkanizaci osobních plášťů pro koncern Continental a to již od spojení se značkou Barum, v roce 1993.

Samotná historie výroby forem se však píše již od roku 1932, kdy firma Baťa zahájila výrobu prvních osobních plášťů.

Výroba forem Continental (VFC) je výrobcem odlévaných nebo frézovaných osobních segmentových forem. VFC je nedílnou součástí organizační struktury gumárenské společnosti Continental Barum v Otrokovicích, zároveň VFC náleží do korporátní organizační jednotky Continental Moulds and Machinery.

K výrobě forem se využívají moderní technologie gravitačního lití se sádrovými jádry a pěti osé obrábění na CNC frézkách. Kombinování těchto výrobních technologií, podpořené 3D měřicí technikou a společně s širokou škálou CAD/CAM programů a řídicích systémů, umožňuje vyrábět formy podle požadavků zákazníků. Zákazníky jsou především pneumatikářské závody koncernu Continental z více než 13 zemích. Hlavními odběrateli forem se staly nejen závody ve státech EU, ale i v Rusku, USA a Jižní Americe.

Za posledních dvacet pět let prošla výroba forem významným technickým a technologickým vývojem, který se zejména v posledních letech dynamicky zrychloval a díky zvýšeným investicím umožnil nástup nových výrobních technologií. Momentálně vyráběné formy jsou vyrobeny za použití inovované technologie gravitačního lití a víceosého obrábění, které jsou podporovány technologiemi 3D měření, 3D tisku lamel a Cr-N povlakováním segmentů.

8.1 Výroba segmentové formy ve VFC

Všechny segmentové formy, které jsou vyrobeny ve VFC, se skládá z těchto hlavních částí.

- Dezenové segmenty
- Bočnice
- Patkové kroužky

Všechny tyto díly se poté vkládají do kontejneru, který je uložen v lisu a zajišťuje formě vytápění, pohyb při vkládání a vyjímání pryžového pláště při lisování (*Obr. 23*).

8.1.1 Dezénové segmenty

Dezénové segmenty se vyrábí z hliníkových odlitků ze slitiny $AlMg_3Si_1$. V oddělení slévárny se podle výkresů a CNC dat vyrábí na víceosých frézkách modely, které mají prakticky vzhled budoucího dezénu pláště pneumatiky. Pomocí speciálních silikonových forem s vysokou rozměrovou pamětí a po vložení ocelových lamel se ze sádry zhotoví odlévací forma. Tato forma stejně jako prvotní model se ručně dokončuje, aby se odstranily drobné vady a nerovnosti na povrchu. Vše je zaměřeno na vysokou rozměrovou přesnost licí sádrové formy. Odlití roztaveného hliníku ukončí základní výrobní proces ve slévárně. Odlité dezénové segmenty se dále soustruží a frézují, aby rozměrově odpovídaly velikosti lisovacího kontejneru. Velmi náročnou a přesnou výrobní operací je zhotovení odvzdušnění dezénů. V dezénovém kruhu se musí vyvrtat až tisíce otvorů pro speciální euro-ventily, aby bylo zaručeno správné odvzdušnění formy při lisování pláště pneumatiky. Spolu s odvzdušněním se na dezénu provádí i ruční dokončení odlitku, zejména odškrábání přetoků a vad vzniklých v průběhu lití a následném chladnutí hliníku.

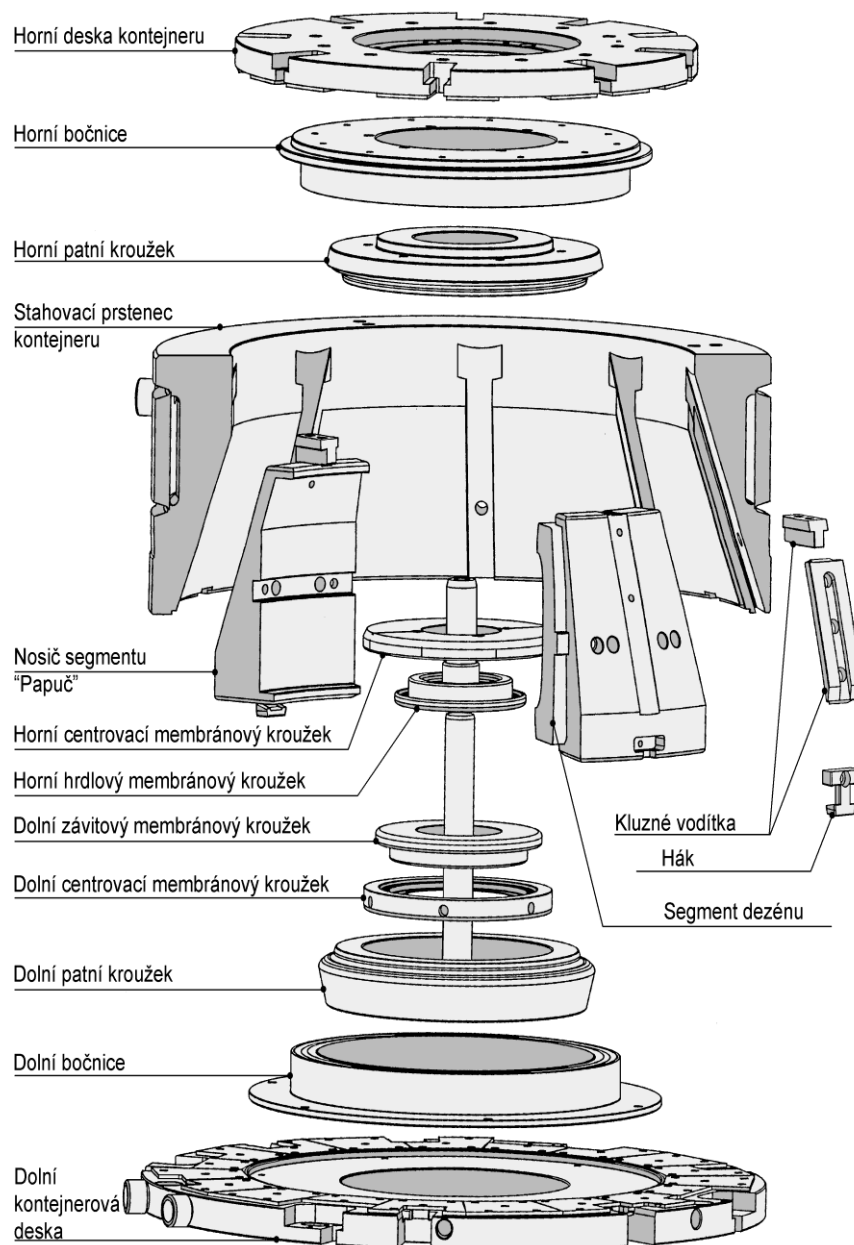
8.1.2 Bočnice

Bočnice se soustruží z ocelových tepelně dělených polotovarů. Po tepelném zpracování a vysoustružení základního tvaru bočnice se do profilu pláště pneumatiky frézují drážky pro výměnné štítky popisu. Po vsazení a dolícování výměnných štítků se na lisovací části bočnice vyfrézuje popis, který se při lisování pláště pneumatiky otiskne na finální výrobek – plášť pneumatiky. Na popisu jsou uvedeny veškeré identifikační znaky pneumatiky, které umožní jednoznačné určení typu výrobku a podmínky jeho používání, výrobce pneumatiky i výrobce formy. Stejně jako v dezénové části formy, tak i na bočnici se musí zhotovit odvzdušňovací systém, který zaručí správné odvzdušnění formy při lisování pláště pneumatiky. Spolu s odvzdušněním se na bočnici ručně dokončí nerovnosti a chybějící detaily vzniklé po strojním obrábění.

8.1.3 Patkové kroužky

Patkové kroužky se po tepelném zpracování soustruží z ocelových vypálených polotovarů. Po soustružení základního tvaru se na lisovací části kroužků vrtá a frézuje odvzdušňovací systém, který zaručí správné odvzdušnění formy při lisování pláště pneumatiky. Stejně jako na bočnicích a dezénových segmentech se pro odvzdušnění používají i speciální euro-

ventily, které při lisování pláště pneumatiky zabraňují zatékání gumárenské směsi do formy, ale umožňují odvzdušnění formy [interní materiály].



Obr. 23. Sestava formy na lisování pneumatik pro osobní automobily

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem práce bude zoptimalizovat výrobu sádrových jader pro vulkanizační formy. V úvodu praktické části bude popsána výroba segmentové formy na lisování osobních pneumatik od fáze výroby modelů po výrobu odlitku. Ve stěžejní část praktické části bude popsáno ruční a strojní míchání sádrové směsi. Tři druhy sádry – ThermoMold Foam I, ThermoMold Foam II a Hydroperm - projdou testováním na napěnění, prodyšnost, tvrdost a pevnost v tlaku. Posledním testem bude 3D optické měření odlitku a měření uniformity formy. Všechny testy budou následně vyhodnoceny. Z výsledků dojde k doporučení nejvhodnějšího způsobu míchání sádrových směsí a typu sádry pro toto míchání.

10 PROCES VÝROBY SEGMENTŮ VULKANIZAČNÍ FORMY

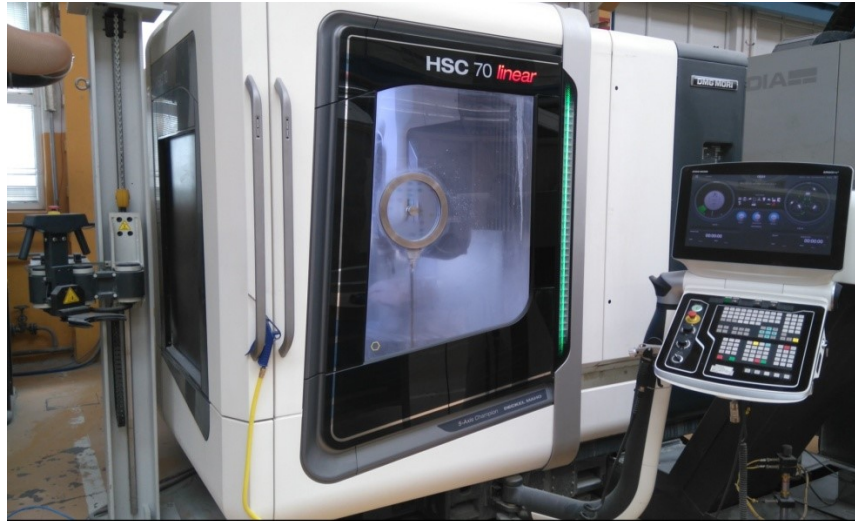
Po návrhu dezénu začíná samotná příprava výroby první formy. Ta zahrnuje komunikaci vývojovým konstruktérem a konstrukcí. V konstrukci se nakreslí potřebné výkresy, kterými se řídí celá výroba a následně putuje dokumentace programátorům. Po naprogramování se nechá model vyfrézovat, dojde k jeho osazení lamelami a k zalití polyadičním silikonem, který přesně kopíruje model. Po vyjmutí modelu se silikonová forma nechá osadit produkčními lamelami a zalije se sádrou. Sádrové jádro se vytáhne i s vloženými lamelami a nechá se vysušit. Seskládá se do kruhu, zaformuje se pískovou formou a odleje se hliníkovou slitinou. Po odlití odchází forma na další zpracování.

10.1 Frézování modelů pro segmentové formy

Frézování modelů je jedna z nejdůležitějších operací při výrobě segmentových forem. Od kvality modelu, který bývá uložen i desítky let, se odvíjí výroba první formy a po sléze i opakované formy. Frézování modelů ve VFC probíhá na vysokorychlostní 5osé CNC frézce od společnosti DMG a FIDIA (*Obr. 24*). Pro výrobu modelů se používá polymerní dřevo Necuron 651. Tento materiál je dodáván jako blokový polotovár nebo polotovár s rádiusem. Má velkou hustotou, hladký povrch, minimální pórovitost a velmi dobrou obrobiteľnosť.

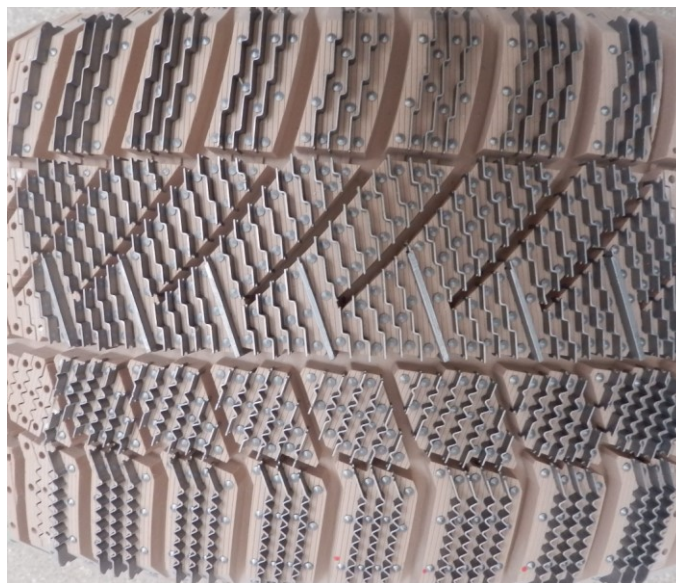
Materiálový list (v príloze):

Barva:	Hnědá
Součinitel tepelné roztažnosti:	$52 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Teplotní stálost:	70°C
Tvrдость Shore D:	68
Pevnost v tlaku:	26 N/mm ²
Pevnost v ohybu:	30 N/mm ²
Hustota:	0,7 g/cm ³



Obr. 24. Pětiosá frézka DMG MORI.

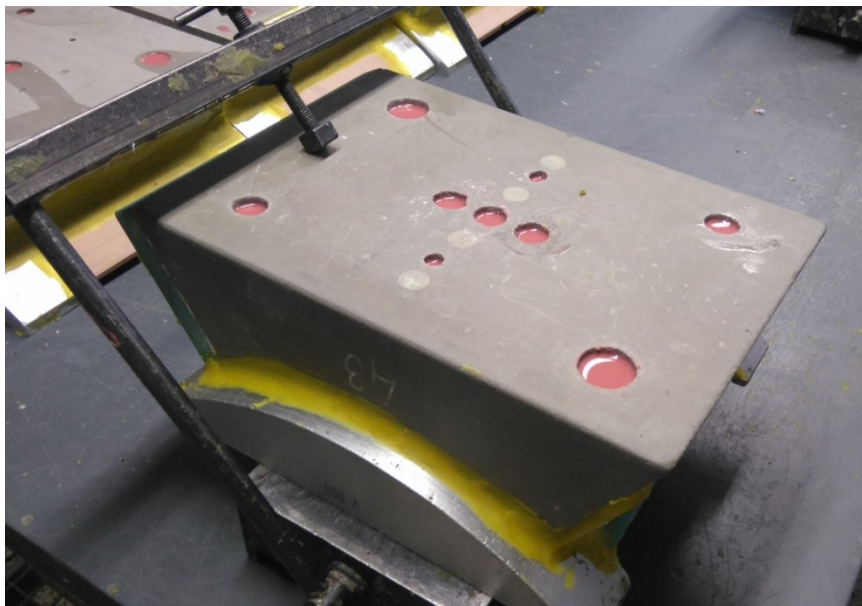
Když je vyhrubován polotovár, který je zvětšený o 4 mm, upne se model do upínacího přípravku na excentrický kříž. Ten je osazen kalibračními drážkami, které zaručují identické upnutí. Nedojde tak k posunutí nebo vyosení modelu při frézování. Spustí se program, který vyfrézuje drážky na lamely, obvodové i příčné drážky a různé plošky, které jsou potřebné například k měření konvexního navýšení. Po vyfrézování požadovaného tvaru modelu provedou technici oddělení kvality přeměření 3D geometrie, kterou porovnají s modelem v CADu. Po potvrzení kvality osadí modeláři model lamelami (*Obr. 25*) a zbrousí ostré hrany, popřípadě odstraní vady, které vzniknou při frézování.



Obr. 25. Model osazen lamelami.

10.2 Výroba silikonové formy

Z modelárny jde model na pracoviště pro výrobu silikonové formy. Silikonová forma je vyrobena z polyadičního silikonového kaučuku, s vysokou rozměrovou přesností a tvarovou pamětí. Na model se nastříká separátor, který slouží k lepšímu odformování modelu při vyjmutí ze silikonové formy. Vyberou se dílenské přípravky ve tvaru půlměsíce a určí se zadní strana pro silikonovou formu dle přiložené šablony. Model se správným rádiusem a tvarem půlměsíce se ustaví, vycentruje a upne se na něj přípravek. Zaformovaný model se utěsní technickou plastelínou a zalije se materiálem pro výrobu silikonové formy (*Obr. 26*). Po stanovené době tuhnutí se vyjme model ze silikonové formy. Poté je forma opticky změřena a zkontrolována na kvalitu přenosu geometrie. Když je vše v pořádku, forma putuje na další operaci a tou je vkládání lamel.



Obr. 26. Zaformovaný model a zalitý silikonem.

Na pracovišti vkládání lamel pracovníci osadí formu výrobními lamelami (*Obr. 27*) na požadované místo dle výkresové dokumentace a celá sestava se přesune na pracoviště odlévání sádrových jader.



Obr. 27. Silikonová forma osazená lamelami.

10.3 Ruční příprava sádrové směsi pro výrobu sádrových jader

Ruční příprava sádrových směsí je již nahrazena automatizovanou strojní výrobou. Stav, který je níže popsán je tedy původní příprava míchání směsí, před přechodem na automatizaci.

Při přípravě sádrových směsí je nejsložitější nastavení poměru váhy mezi vodou a sádro. Tento poměr je určen s každou novou šarží, pro každou velikost kontejneru (Tab. 5)

Tab. 5. poměry pro ruční výrobu sádrové směsi.

Poměry pro ruční výrobu sádrových směsí		
Voda [kg]	Sádra [kg]	Poměr V/S [-]
4,21	4,00	1,05
4,74	4,50	1,05
5,26	5,00	1,05

5,79	5,50	1,05
6,32	6,00	1,05
6,84	6,50	1,05
7,37	7,00	1,05

Po navážení vody a sádry ve správném poměru dojde k promíchání sádrové směsi (Obr. 28), odležení a opětovnému promíchání, při stanovených otáčkách na stroji Vacumat SN 18 (Obr. 29).



Obr. 28. Ruční vážení s ručním mícháním.



Obr. 29. Strojní míchací zařízení Vacumat SN 18.

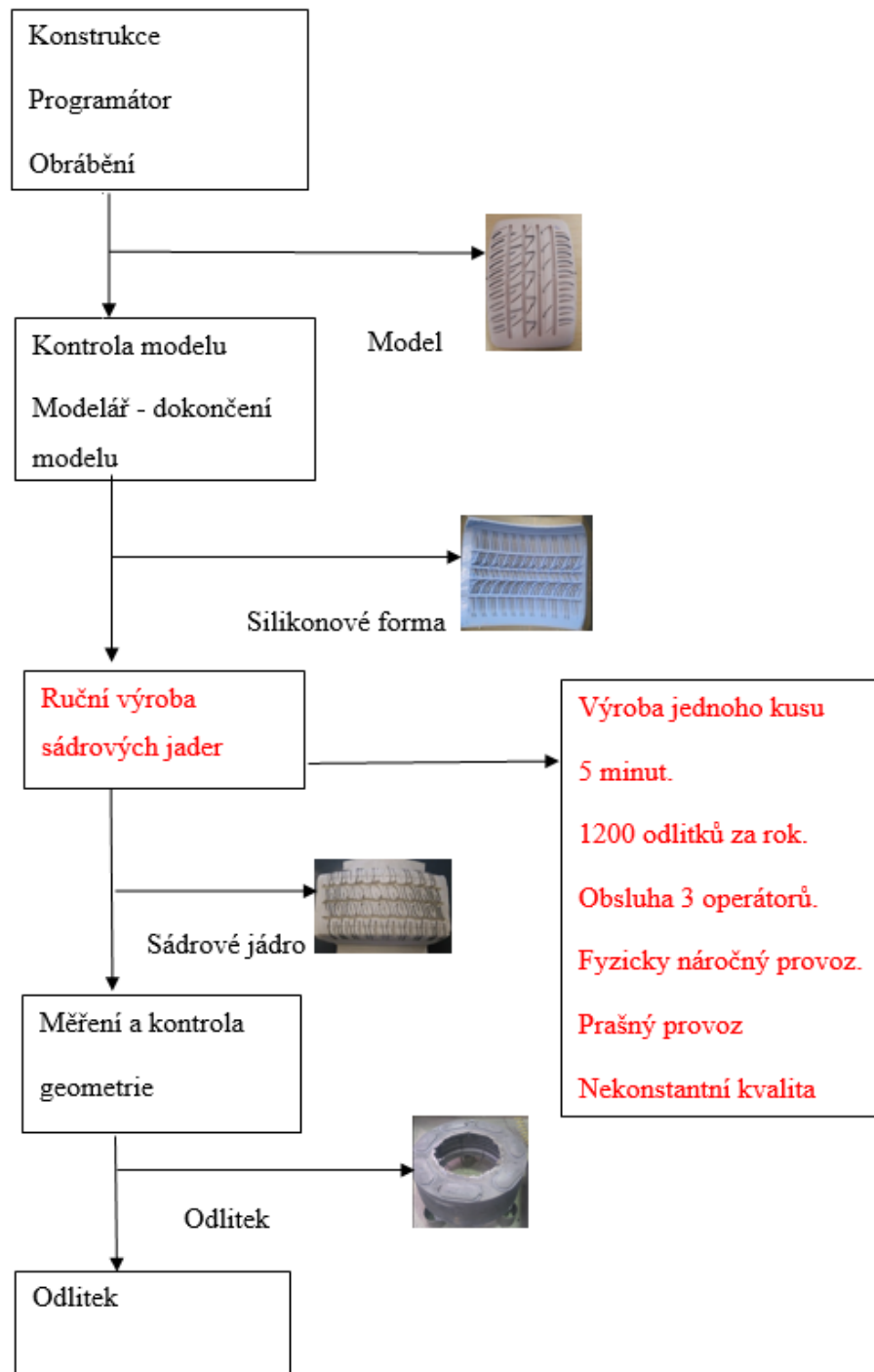
Průběh pracovní operace:

- Vsypaní sádry 30s.
- Ručně míchání 30s.
- Strojní míchání 90s.
- Odležení sádrové směsi 90s.
- Nástřik první vrstvy provádět ihned po ručním zamíchání směsi.
- Lití se žlábkem.
- Po nalití jader poklepat jaderník gumovým kladivem.
- Letní jádra odformovávat za 45 min. od lití.
- Zimní a letní jádra s více lamelami odformovávat za 35 až 45 min. od lití.

Před samotným zalitím se forma ze silikonu nástříká separátorem a uzavře se do připraveného přípravku, který je po stranách utěsněn. Proveďte se nástřik sádrovou směsí, která je kašovitého formátu, o tloušťce zhruba 5 mm a poté se forma touto směsí zalije. Po vytvrdnutí se sádrové jádro vyjme z formy (*Obr. 30*). Projde kontrolou přesnosti geometrie, očistí se přetoky, přeměří se lamely, zda se nepohnuli při odformování a do jádra se vytvoří technologické vpichy pro zlepšení zabíhavosti. Poté celá sestava putuje do sušících pecí. Po vysušení se jádra seskládají do kruhu na licí desku za pomoci dílenských přípravků a jdou na poslední operaci - předsušení, před samotným litím.



Obr. 30. Sádrové jádro s lamelami.



Obr. 31. Proces výroby vulkanizační formy od modelu až po odlitek - ruční výroba sádrového jádra.

10.4 Odlévání odlitku.

Před samotným litím se vyrobí písková forma. K tomu je potřeba ocelový rám s dřevěným modelem, vtokovou soustavou a nálitky. Forma se zasype formovací směsí tvořenou slévárenským pískem, pojivem a tvrdidlem. Po upěchování a zatvrdnutí se písková forma vystříká vodním sklem, aby se předešlo erozi hliníkovou slitinou při odlévání. Nalepí se filtry, které nám zachytí případné nečistoty a regulují průtok taveniny do formy. Písková forma se nechá 24 hodin vyzrát, vyschnout a je připravena k odlití (*Obr. 32*).



Obr. 32. Výroba pískové formy.

Předsušená sádrová jádra, která jsou seskládána na licí desce, dle určeného průměru, se ustaví na licí desce před tavicí pec. Utěsní se případné otvory a písková forma se vystředí k sádrovým jádrům. Zatíží se a přes vtokový kanálek se celá forma zalije taveninou (*Obr. 33*).



Obr. 33. Hliníkový odlitek.

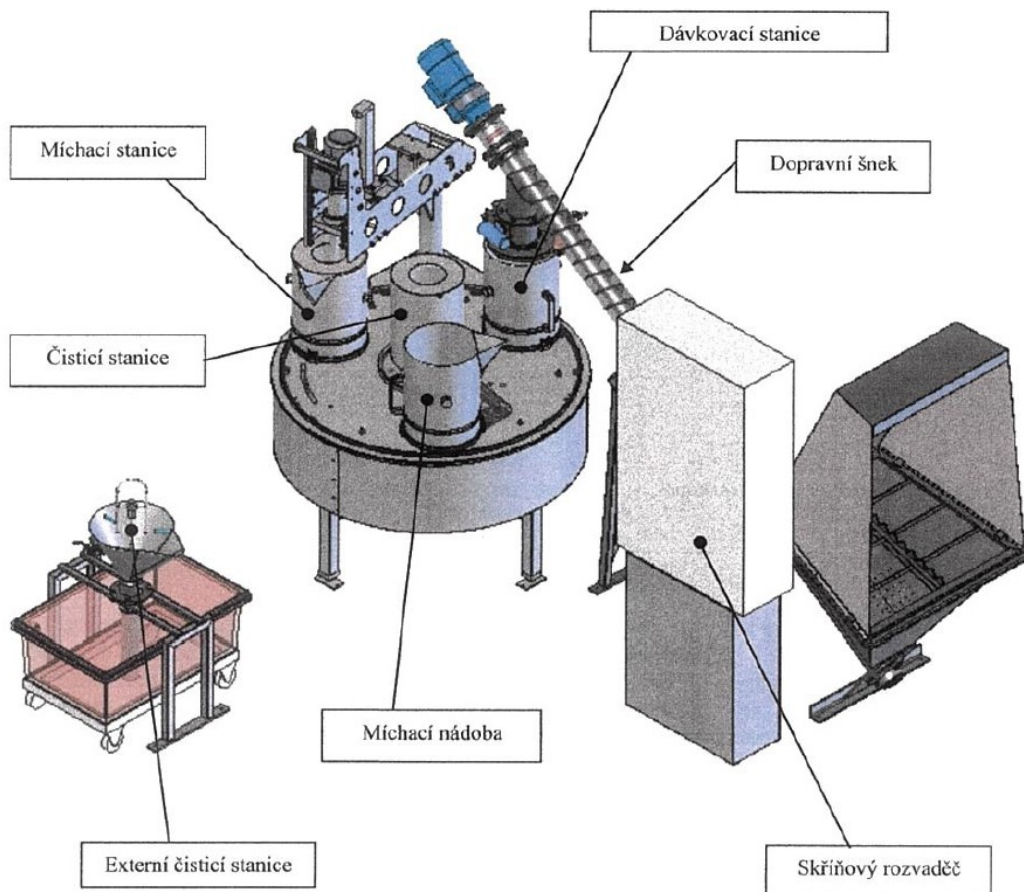
Po zchladnutí odlitku se forma položí na vytloukací rošt, kde se formovací směs i sádrové jádra vytřesou. Odlitek se vyjme z pískové formy. Po odstranění vtokové soustavy a nálitků se provede apretace, kde se vystříkají zbývající nečistoty a surový odlitek (*Obr. 34*) putuje k další fázi zpracování.



Obr. 34. Surový odlitek.

11 STROJNÍ PŘÍPRAVA SÁDROVÉ SMĚSI PRO VÝROBU JADER

Principem činnosti přípravy sádrové směsi je automatické míchací zařízení s otočným stolem, které bylo vyvinuto pro flexibilní a hospodárnou výrobu sádrových směsí. Jednoduchá obsluha umožňuje rychlou výrobu, a to také v případě časté změny receptury. Zařízení umožňuje naprogramovat až 99 receptur, které lze následně připravit jak v automatickém, tak v ručním režimu (Obr 35).



Obr. 35. Náčrt automatického stroje na míchání sádrové směsi.

11.1 Konstrukce stroje

Dávkovací stanice – zajišťuje přesné dodržení receptury. To je zajištěno elektronickou vahou a digitálním vážicím terminálem

Otočné rameno – sestává z ocelové konstrukce. Otočný pohyb tohoto ramena zajišťují pneumatické prvky a v případě potřeby je jej možno nastavit také individuálně. Zdvih je zajišťován vřetenovým pohonem, jenž je ovládán frekvenčním měničem v řízení.

Míchací nástroj - jedná se o míchadlo na otočném rameni.

Míchací nádoby – jsou vyrobeny z ušlechtilé oceli a mají velmi hladký povrch, vylévací hubici, držadlo a jeřábová oka.

Čisticí stanice – je vyrobena z ušlechtilé oceli a má postřikové zařízení na čištění míchacího nástroje a odpadní vedení.

11.2 Princip činnosti

Prvním krokem při přípravě sádrové směsi je dávkování. Po spuštění receptury je do míchací nádoby přidáno příslušné množství vody a sádry. Elektronická váha umožňuje přesné dávkování. Otočný talíř následně nádobu automaticky umístí do míchací stanice. Tam se provádí míchání. I zde je přesně dodržena předepsaná receptura. Po promíchání lze sádrovou směs používat a v čisticí stanici dojde k automatickému umytí míchacího nástroje *Obr. (36)*.

11.3 Technické údaje

Hlavní specifikace stroje:

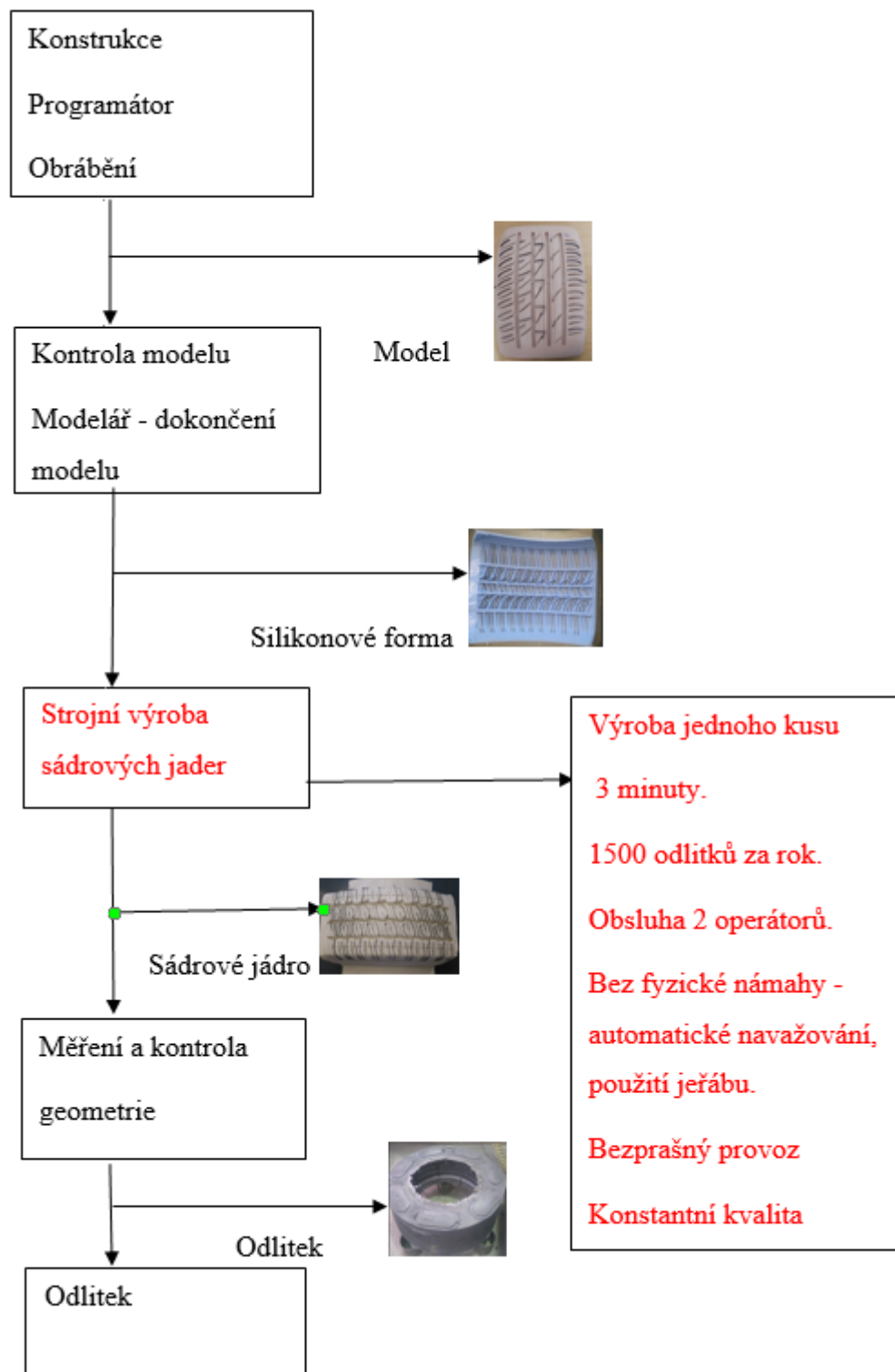
Označení:	Přípravna sádrové směsi
Míchací nádoba:	30 litrů (užitečný obsah)
Počet stanic:	3 ks
Počet programovatelných receptů:	99
Výkon motoru otočného stolu:	0,75 kW
Výkon motoru turbíny:	0,37 kW
Rozměry:	výška: 2400 mm šířka: 3680 mm hloubka: 3440 mm
Celková hmotnost (bez skříň. rozvaděče)	cca 1200 kg
Elektrický příkon:	5 kW
Stlačený vzduch:	6 bar
Jmenovité napětí s točivým polem:	3/N/PE 400 V
Jmenovitý kmitočet střídavého napětí	50 Hz

Emise hluku

<70 dB (A)



Obr. 36. Stroj na míchání sádrové směsi.



Obr 37. Proces výroby vulkanizační formy od modelu až po odlitek - strojní výroba sádrového jádra.

12 SÁDROVÉ SMĚSI

Výrobky ze sádry umožňují výrobcům odlévat i ty nejsložitější tvary. V produktu je obsaženo malé množství organických částic, čímž nevzniká riziko použitelnosti pro dané formy. Sádra má vynikající rozměrovou přesnost, nezpůsobuje žádné vady u odlitků vyžadující následné opravy. Vyrobena sádra musí být prodyšná, aby se dobře vysušila, zároveň tvrdá tak, aby nedocházelo k propadnutí sádrových jader tlakem taveniny.

K testování bude použita sádra od dvou výrobců. Od německého výrobce budou použity dvě sádry, a to ThermoMold Foam I a II - půlhydrát α a půlhydrát β , s malým obsahem portlandského cementu a napěňovadla. Od americké firmy bude použit jeden typ sádry, a to Hydroperm.

Typické použití těchto vybraných sáder:

- hliníkové odlitky na modelování
- hliníkové odlitky v gumárenském průmyslu
- hliníkové odlitky v obuvnickém průmyslu

12.1 ThermoMold Foam I a II

Tyto německé, vysoce prodyšné sádry jsou specificky určeny pro odlévání hliníkových slitin. První typ sádry je půlhydrát β - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Vzniká pálením sádrovce na vzduchu, při teplotě 120 - 130°C. Mikročástice jsou vločkovité, pórovité a nepravidelné. Beta sádra má větší rozpustnost a uvolňuje při tuhnutí více tepla proti alfa sádře. Druhý typ sádry je půlhydrát α - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ (Tab. 6). Vzniká odvodněním sádrovce v autoklávě, při tlaku 0,13 MPa, a teplotě 125 °C po dobu 7 – 8 hod.

Tab. 6. Technické data sádry ThermoMold Foam I a II

MATERIÁL	OBSAH %
Sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)	95
Portlandský cement	2,5
Napěňovadlo	2,5

Materiálový list (v příloze) - doporučené obecné parametry míchání od výrobce:

Poměr sádra / voda:	100:90
doba rozpuštění:	1 min
rychlost míchání:	2000 až 2500 ot/min
mixovací čas:	2 až 3 min
teplota vody při míchání:	20 °C
doba zpracování:	4 až 6 min
doba tvrdnutí:	30 až 45 min
Maximální lineární smrštění po 2 hodinách:	< 0,08%
Minimální pevnost po 2 hodinách:	1,06 MPa

12.2 Hydroperm

Jádra vyrobená z konvenčních sáder jsou málo prodyšná. Hydroperm je materiál určený pro výrobu prodyšných jader z neželezných slitin. Jádra vyrobená z tohoto materiálu získávají velký rozsah prodyšnosti, která může být uzpůsobena pro dané požadavky (Tab. 7). Sádrové jádra mají velmi hladký povrch. Přímo pod povrchem je pórovitá struktura uniformních buněk, které jsou navzájem propojeny. Po vysušení vytváří kanály, které umožňují únik plynu při lití kovu.

Tab. 7. Složení sádry Hydroperm

Složení sádry	OBSAH %
Sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)	> 70
Mastek	< 25
Portlandský cement	< 2
Silica	< 5

Materiálový list (v příloze) - doporučené obecné parametry míchání od výrobce:

Poměr sádra / voda:	100:100
doba rozpuštění:	30 [s]
rychlost míchání:	1000 až 1500 ot/min
mixovací čas:	15- 30 [s]
teplota vody při míchání:	40 °C
doba zpracování:	4 až 6 min
doba tvrdnutí:	30 až 45 min
Maximální lineární smrštění po 2 hodinách:	výrobce neudává
Minimální pevnost po 2 hodinách:	1,08 MPa

13 TESTOVÁNÍ SÁDROVÝCH SMĚSÍ

Při testování sádry byli měřeny následující parametry:

- Napěnění
- Tvrdost
- Prodyšnost
- Pevnost v tlaku
- Tvarová přesnost

13.1 Napěnění sádry

Princip metody spočívá ve vytvoření napěnění sádrové směsi napěňovadlem. To nám vytvoří prodyšnost, potřebnou k odvodu par a plynu při odlévání kovů. Při míchání jsou důležité otáčky, průměr a tvar kotouče. Napěnění má vliv na tekutost napěněné sádry.

Míchání bude prováděno na automatickým míchacím zařízení se stanoveným průměrem kotouče a přesně definovanými otáčky.

Napěnění sádry se vypočítá jako procentuální rozdíl výšky hladiny sádrové směsi před napěněním h_1 a po napěnění h_2 .

Výpočet napěnění:

$$f = \left(\frac{h_2}{h_1} - 1 \right) \cdot 100 \quad (15)$$

f napěnění [%]

h_1 výška hladiny sádrové směsi před napěněním [cm]

h_2 výška hladiny sádrové směsi po napěnění [cm]

Z technologického předpisu je dané, že napěnění se má pohybovat mezi 40 – 70 %.

13.1.1 ThermoMold Foam I a II.

Strojní parametry pro výrobu sádrových směsí ThermoMold Foam I a II., míchaných na automatickém stroji pro výrobu sádrové směsi (Tab. 8).

Tab. 8. Strojní parametry pro výrobu sádrových směsí.

Program	[#]	1	2	3	4
Voda	[g]	7000	10000	8000	8800
Sádra	[g]	7000	10000	8800	8000
Namáčení	[s]	1	1	1	1
Výška vřetene od dna	[mm]	60	60	60	60
Doba míchání	[#]	90	90	90	90
Průměr kotouče	[mm]	130	130	130	130
Otáčky	[min ⁻¹]	1200	1400	1453	1053
Teplota vody	[°C]	22,5	22,5	22,5	22,5
Teplota sádry	[°C]	22,5	22,5	22,5	22,5
Okapání	[s]	1	1	1	1
Čištění	[s]	20	20	20	20

Tab. 9. Výsledky testu na napěnění ThermoMold I

THERMOMOLD I			
Program [#]	Výška hladiny [mm]		Napěnění [%]
	Před napěněním:	Po napěnění:	
č. 1	144	238	65,28
č. 2	205	320	56,10
č. 3	170	257	51,18
č. 4	190	274	44,21

Tab. 10. Výsledky testu na napěnění ThermoMold II

THERMOMOLD II			
Program [#]	Výška hladiny [mm]		Napěnění [%]
	Před napěněním:	Po napěnění:	
č. 1	144	249	72,92
č. 2	205	331	61,46
č. 3	170	272	60,00
č. 4	190	283	48,95

Průměrné napěnění sádrových směsí se pohybuje v dané toleranci, jen u ThermoMold II se u programu č. 1 dostalo nad toleranci (Tab. 9-10).

13.1.2 Hydroperm

Strojní parametry pro výrobu sádrových směsí Hydroperm byly nastaveny podle doporučení výrobce. Míchání bylo provedeno na automatickém stroji pro výrobu sádrové směsi (Tab. 11).

Tab. 11. Strojní parametry pro výrobu sádrových jader Hydroperm.

Program	[#]	1	2	3	4
Voda	[g]	2100	5240	4100	6500
Sádra	[g]	2500	5400	4500	6500
Namáčení	[s]	1	1	1	1
Výška vřetene od dna	[mm]	60	60	60	60
Doba míchání	[s]	85	100	85	115
Průměr kotouče	[mm]	90	90	90	90
Otáčky	[min ⁻¹]	1320	1320	1350	1350
Teplota vody	[°C]	40	40	40	40
Teplota sádry	[°C]	22,5	22,5	22,5	22,5
Okapání	[s]	1	1	1	1
Čištění	[s]	20	20	20	20

Tab. 12. Výsledky testu na napěnění Hydroperm

HYDROPERM			
Program [#]	Výška hladiny [mm]		Napěnění [%]
	Před napěněním:	Po napěnění:	
č. 1	95	200	110,53
č. 2	111	237	113,51
č. 3	94	195	107,45
č. 4	132	278	110,61

Průměrné napěnění sádrové směsi Hydroperm se pohybuje vysoko nad tolerancí (Tab. (12)).

13.2 Tvrdość sádry

Tvrdość sádry byla měřena kapesním penetrometrem S 170, 40-45 minut po odlití sádrové směsi (Obr. 38). Zatlačením penetrometru kolmo na plochu se hrot zasune do sádry po vyznačenou drážku. Následně se odečte hodnota tvrdosti sádry na stupnici. Měření se provádí z důvodu kontroly jader, za účelem zjištění tvrdosti, která by měla odpovídat technologickému předpisu. Tvrdość by se měla pohybovat od 225 – 350 kPa. Měření se provádí 3-krát, na každém kuse (Tab. 13).

- Rozsah měření je do 450 kPa
- Pro penetraci do povrchové vrstvy vzorku v laboratoři
- Krátký penetrační hrot dovoluje mělká měření



Obr. 38. Penetrometr S 170.

Tab. 13. Výsledky zkoušky na tvrdost sádrové směsi.

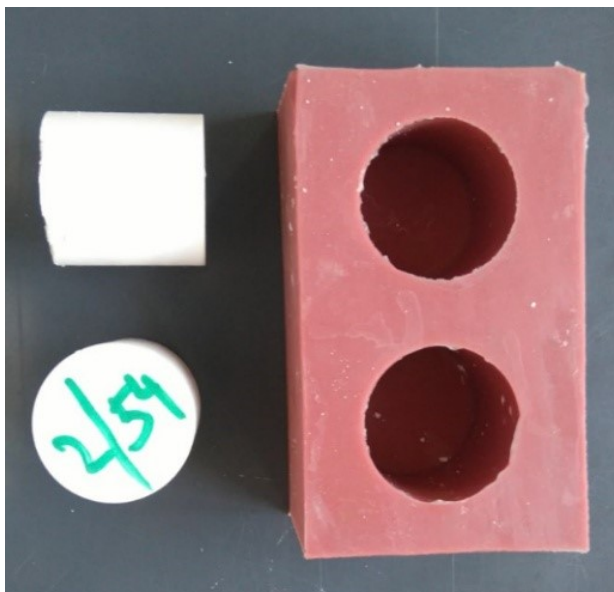
Zkouška tvrdosti – PENETROMETREM x 100 [kPa]					
		1	2	3	4
THERMOMOLD FOAM I	měření č. 1	225	225	300	225
	měření č. 2	225	250	325	225
	měření č. 3	225	250	325	225
	průměrná hodnota	225	241,7	316,7	225
THERMOMOLD FOAM II		1	2	3	4
	měření č. 1	200	225	300	250
	měření č. 2	200	225	300	225
	měření č. 3	200	225	300	225
průměrná hodnota	200	225	300	233,3	
HYDROPERM		1	2	3	4
	měření č. 1	200	150	200	100
	měření č. 2	200	175	175	125
	měření č. 3	200	175	175	125
průměrná hodnota	200	166,7	183,3	116,7	

Tvrdost sádrové směsi Hydroperm se pohybovala pod tolerancí. Tvrdost sádrové směsi ThermoMold Foam II se u vzorku č. 1. pohybovala pod tolerancí (Tab. 13).

13.3 Prodyšnost sádry

Princip metody spočívá v zajištění schopnosti směsi propouštět plyny a páry. Tuto metodu lze vyjádřit množstvím vzduchu v m³, při 15-20 °C, jenž projde za jednu sekundu 1 m² směsi při přetlaku 1 kPa. V praxi se užívá normální jednotka prodyšnosti [n.j.p.]. [5]

Z každé receptury bylo připraveno 6 válečků o průměru ϕ 50 mm a výšce 50 mm, které byly vysušeny (Obr. 39). Prodyšnost byla měřena na elektrickém přístroji značky +GF+ (Obr. 40) v laboratoři firmy SAND TEAM. Zařízení k měření prodyšnosti není v naší firmě k dispozici.



Obr. 39. Testovaný vzorek sádry.



Obr. 40. Přístroj +GF+ na měření prodyšnosti.

Hodnota prodyšnosti byla odečtena ze stupnice manometru. Poté se udělal aritmetický průměr (Tab. 14).

Tab. 14. Tab. Výsledky prodyšnosti.

Zkouška prodyšnosti [n.j.p.]					
		1	2	3	4
THERMO MOLD FOAM I	vzorek č. 1	9	7	4	6
	vzorek č. 2	9	11	5	7
	vzorek č. 3	10	10	6	5
	vzorek č. 4	9	6	5	6
	vzorek č. 5	10	10	4	6
	vzorek č. 6	9	8	4	6
	průměrná hodnota	9,3	8,7	4,7	6
	THERMO MOLD FOAM II	vzorek č. 1	7	5	4
vzorek č. 2		6	5	3	6
vzorek č. 3		7	3	4	6
vzorek č. 4		7	5	4	6
vzorek č. 5		6	5	4	6
vzorek č. 6		7	5	4	6
průměrná hodnota		6,7	4,7	3,8	6
HYDROPERM		vzorek č. 1	31	46	42
	vzorek č. 2	23	55	43	43
	vzorek č. 3	26	58	45	41
	vzorek č. 4	20	67	50	41
	vzorek č. 5	55	58	43	45
	vzorek č. 6	46	48	55	44
	průměrná hodnota	33,5	55,3	46,3	43,2

13.4 Zkouška pevnosti v tlaku

Měřeny byly stejné vysušené valečky jako při měření prodyšnosti, tedy o průměru ϕ 50 mm a výšce 50 mm. Váleček byl vložen a uchycen na držák. Z boční strany se přiblížil disk na pohyblivém rameni, spustil se program. Váleček se zatížil na tlak, jehož hodnota neustále narůstala, dokud nedošlo k jeho porušení a zaznamenání hodnot.

Pevnost v tlaku byla měřena na univerzálním pevnostním přístroji „SIMPSON“ model 42104 (Obr. 41) v laboratoři firmy SAND TEAM. Zařízení k měření prodyšnosti není v naší firmě k dispozici (Tab. 16).

Tab. 15. Specifikace přístroje SIMPSON

Specifikace	Elektronický univerzální přístroj pro stanovení pevnosti směsí
Délka [mm]	457 mm
Šířka [mm]	305 mm
Výška [mm]	305 mm
Hmotnost [kg]	30 kg
Napájení [V]	Standardní – 100-240 V, 50-60 Hz
Tlakový vzduch [bar]	5 až 6 bar
Kapacita snímače zatížení [kg]	500 kg



Obr. 41. Přístroj SIMPSON - stanovení pevnosti směsí.

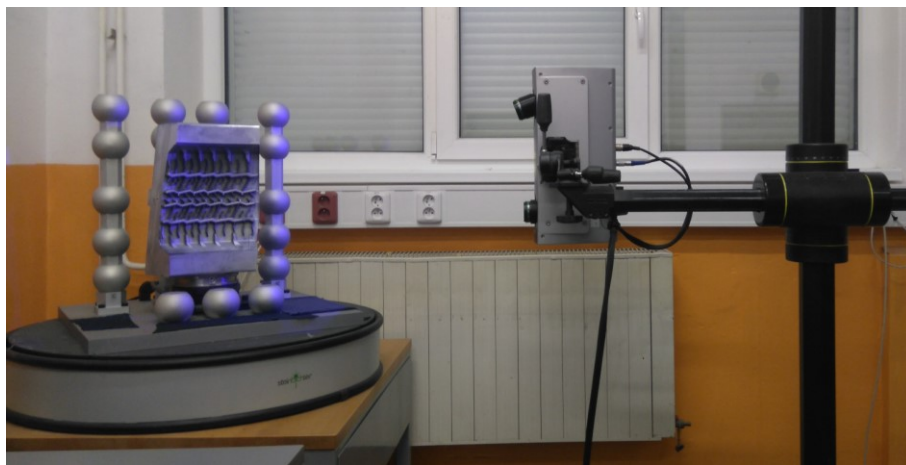
Tab. 16. Výsledky pevnosti v tlaku

Zkouška na stanovení pevnosti sádry [kPa]					
THERMOMOLD FOAM I		1	2	3	4
	vzorek č. 1	250	250	250	250
	vzorek č. 2	250	250	250	250
	vzorek č. 3	290	280	240	240
	vzorek č. 4	300	280	250	250
	vzorek č. 5	270	310	260	260
	vzorek č. 6	290	240	230	230
	průměrná hodnota	280	270	250	250
THERMOMOLD FOAM II		1	2	3	4
	vzorek č. 1	240	290	300	250
	vzorek č. 2	170	290	320	250
	vzorek č. 3	230	260	280	230
	vzorek č. 4	180	290	330	260
	vzorek č. 5	190	270	290	240
	vzorek č. 6	220	250	310	240
	průměrná hodnota	210	280	310	250
HYDROPERM		1	2	3	4
	vzorek č. 1	120	120	90	150
	vzorek č. 2	130	120	130	140
	vzorek č. 3	140	120	160	150
	vzorek č. 4	130	130	120	140
	vzorek č. 5	140	130	160	120
	vzorek č. 6	140	10	180	120
	průměrná hodnota	130	120	140	140

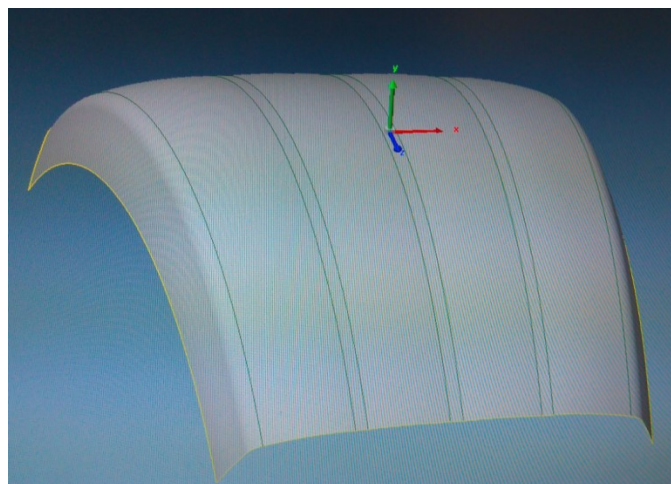
13.5 Měření geometrické přesnosti

Cílem měření je zjištění schopnosti sádrové směsi přenést geometrii ze silikonové formy na odlitek. Pro měření geometrie byl použit 3D scanner Breuckmann stereo SCAN3D – HE (Obr. 42).

Skener je upnut na statický stojan a propojen s otočným stolem, na který je položen měřený objekt – sádra/odlitek a celý tento systém je připojen do PC.



Obr. 42. Přístroj Breuckmann stereo SCAN3D – HE – na měření sádry.



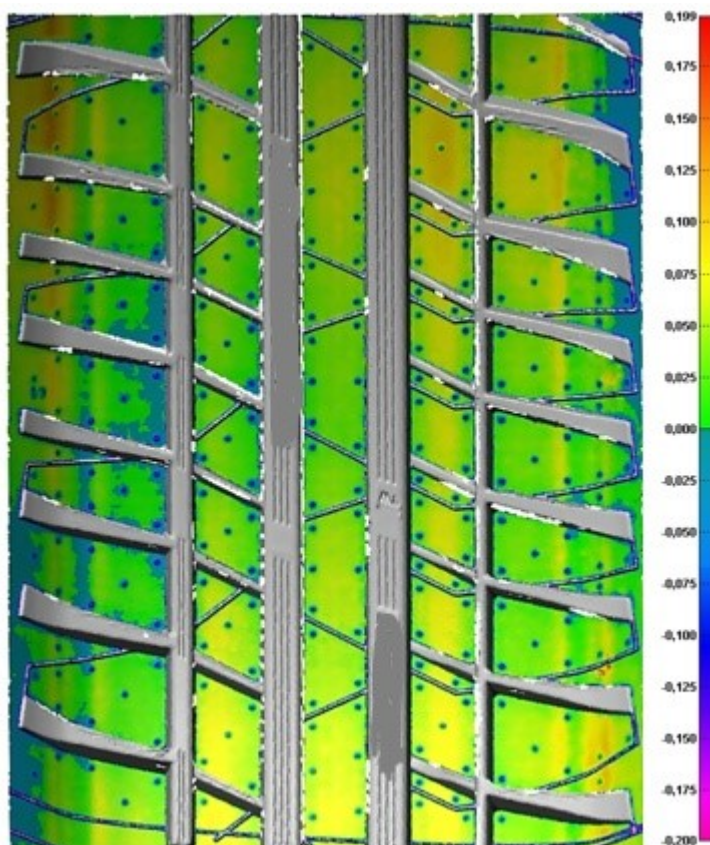
Obr. 43. 3D model.

Scanner nafotí požadovaný tvar a výsledek se porovná s 3D modelem Obr. (43). Výstupem měření je barevná mapa. Jednotlivé barvy znázorňují geometrické odchylky od referenčního modelu v CADu.

Pokud je výsledek mimo toleranci, musí být vyrobeno nové sádrové jádro a v případě odlitku se musí hliníkový segment opravit.

Z každého typu sádry byly vyrobeny 4 jádra (12 celkem), které byly následně odlity. Jádra a odlitky byly změřeny na 3D scanneru.

Test 3D optického měření se u všech 12 testovaných jader od sebe minimálně lišil. Všechny se pohybovaly v rozmezí tolerance (*Obr. 45*).

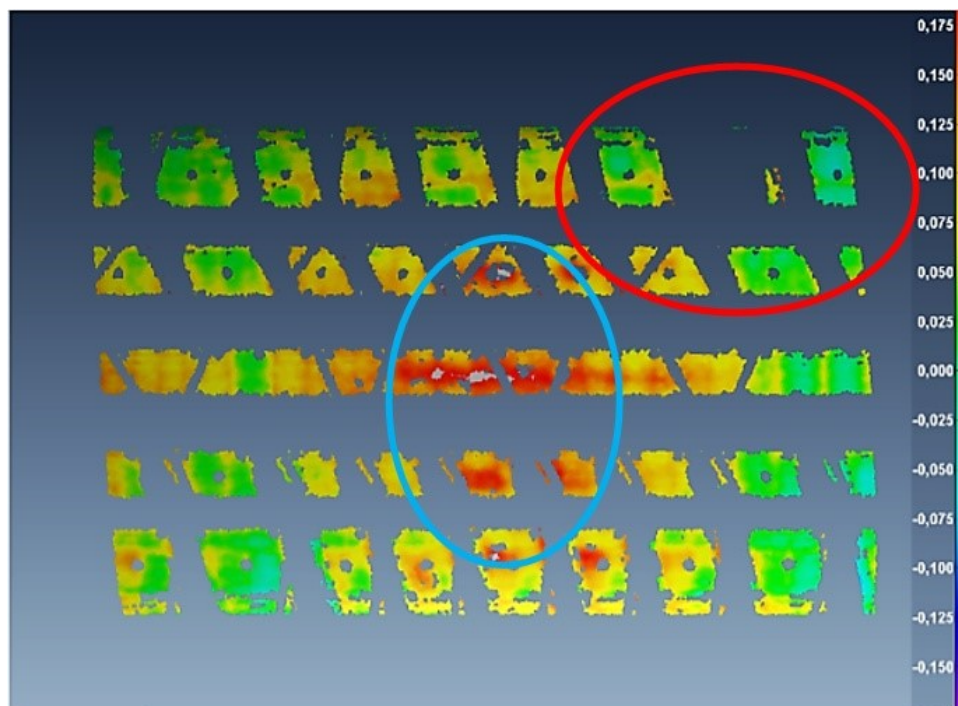


Obr. 45. Barevná mapa sádry Hydroperm.

Výsledné barevné mapy jsou k nalezení v příloze.

Test 3D optického měření u odlitku ze sádry Hydroperm červeně označuje propadlý odlitek (*Obr. 46*). Sádra v daném místě nevydržela metalostatický tlak (*Obr. 47*). Tahle vada byla způsobena tím, že sádrové jádro mělo tvrdost pod limitem tolerance (*Tab. 16*).

Modré označení znázorňuje hodnoty pohybující se mimo toleranci. Odlitek by tak musel jít zpět na opravu (*Obr. 46*).



Obr. 46. Scann odlitku – vady

Z barevné mapy sádky Hydroperm (Obr. 45) není patrná propadlina z přenosu geometrie ze sádkového jádra. Což poukazuje na důležitost měření na 3D scanneru.



Obr. 47. Odlitek - vada

13.6 Měření uniformity formy

Segmentová lisovací forma je vyráběná v různých kategoriích lišících se požadovanou tolerancí. V divizi VFC je tvar formy (konicita, ovalita a rozdíl mezi segmenty) kontrolována na stroji Rundlauf (Obr. 44). Tento stroj je vybaven laserovým měřícím zařízením a specializovaným SW. Stroj je schopen změřit všechny požadované hodnoty pro vyhodnocení kvality formy. Výstupem jsou číselné hodnoty a grafy jednotlivých stop měření. Technické údaje a data od přístroje jsou chráněny know-how, nebudou v této práci zveřejněny.



Obr. 44. Přístroj pro měření uniformity.

Tolerance odchylek uniformity pláště:

Odchylka radiálního házení:	$\leq 0,3$ mm absolutně
ev.	$\leq 0,2$ mm absolutně pro formy HR a VR

Konicita pro:

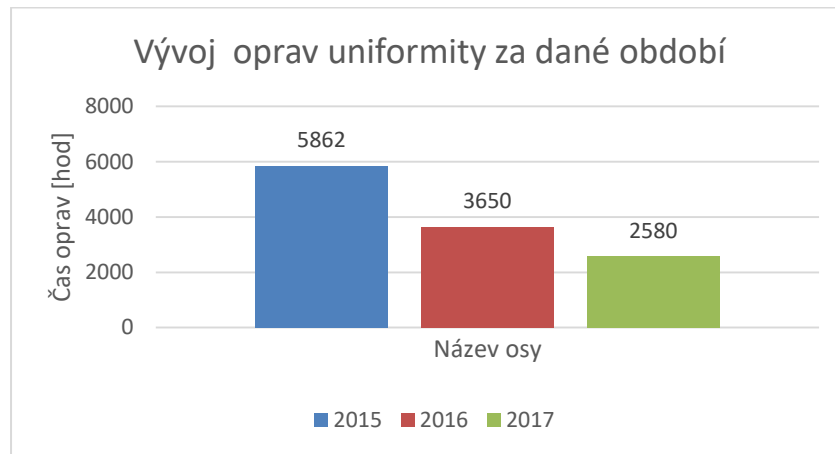
Nízko-profilové pneumatiky (< 65)	$\pm 0,15$ mm
-----------------------------------	---------------

Pro průřezy ≥ 70 a pro pneumatiky M+S	$\pm 0,30$ mm
--	---------------

Max. rozdíl dvou sousedních segmentů:	$\leq 0,20$ mm
---------------------------------------	----------------

Vyhodnocování probíhalo po dobu daných roků (Tab. 17).

Tab. 17. Vývoj oprav uniformity zadané období



Při srovnání roku 2016/2017 s předchozími lety, došlo k zlepšení uniformity. Snížily se náklady na opravy.

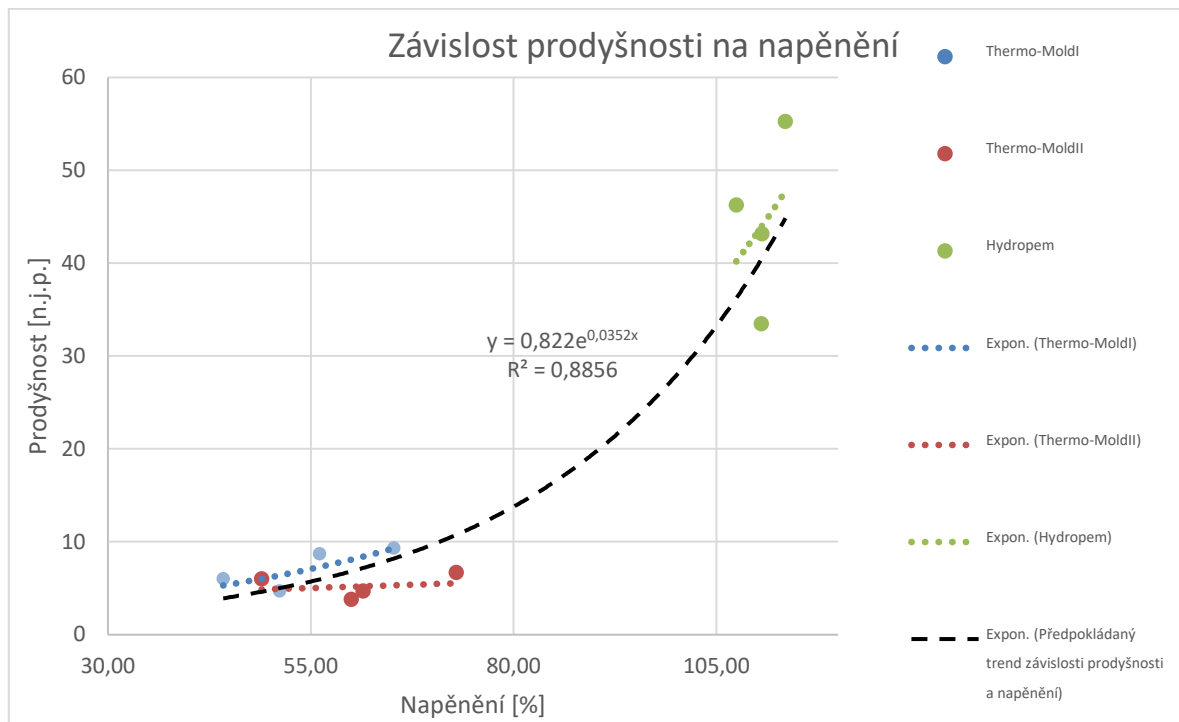
14 VYHODNOCENÍ

Z měřených hodnot byly zhotoveny grafy pro vizuální vyhodnocení.

Závislost prodyšnosti na napětění.

Z grafu lze vyčíst, že závislost prodyšnosti na napětění je exponenciální (*Graf 1*). Hodnota spolehlivosti je $R^2 = 0,8856$.

Graf 1. Závislost prodyšnosti na napětění.

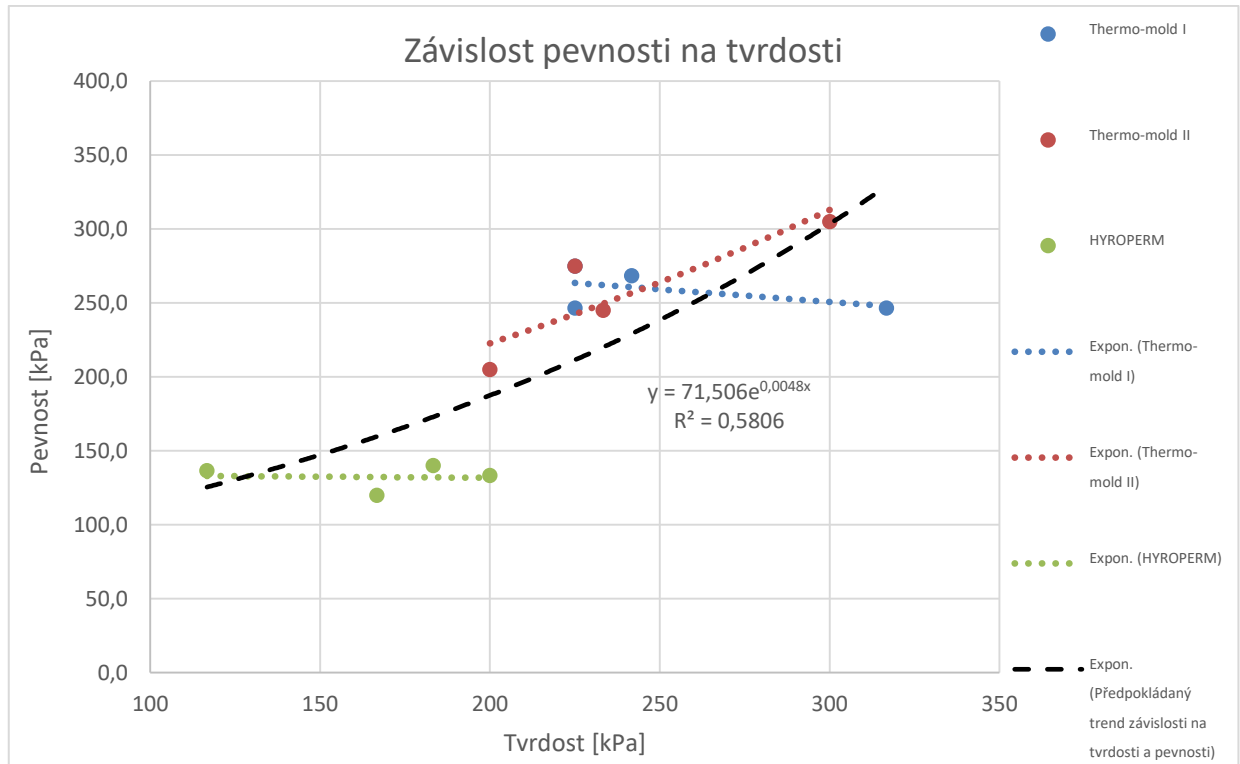


Z grafu vyplívá, že prodyšnost lze nepřímým způsobem určit změřením napětění sádrové směsi. Nestabilita výsledků u směsi Hydropem může být způsobena tím, že se hodnoty pohybují v oblasti, kde malá změna napětění může způsobit velkou změnu prodyšnosti. Tento fakt znovu poukazuje na exponenciální závislost.

Závislost pevnosti v tlaku na tvrdosti.

Z grafu lze vyčíst, že závislost prodyšnosti na napětění je lineární (*Graf 2*). Hodnota spolehlivosti je $R^2 = 0,5806$.

Graf 2. Závislost pevnosti na tvrdosti.



Nízká hodnota spolehlivosti znamená nepřesnost měření, což může být způsobeno malým počtem výsledků.

Z grafu vyplívá, že se se zvyšující tvrdostí zvyšuje i pevnost v tlaku.

Závislost tvrdosti na napětění.

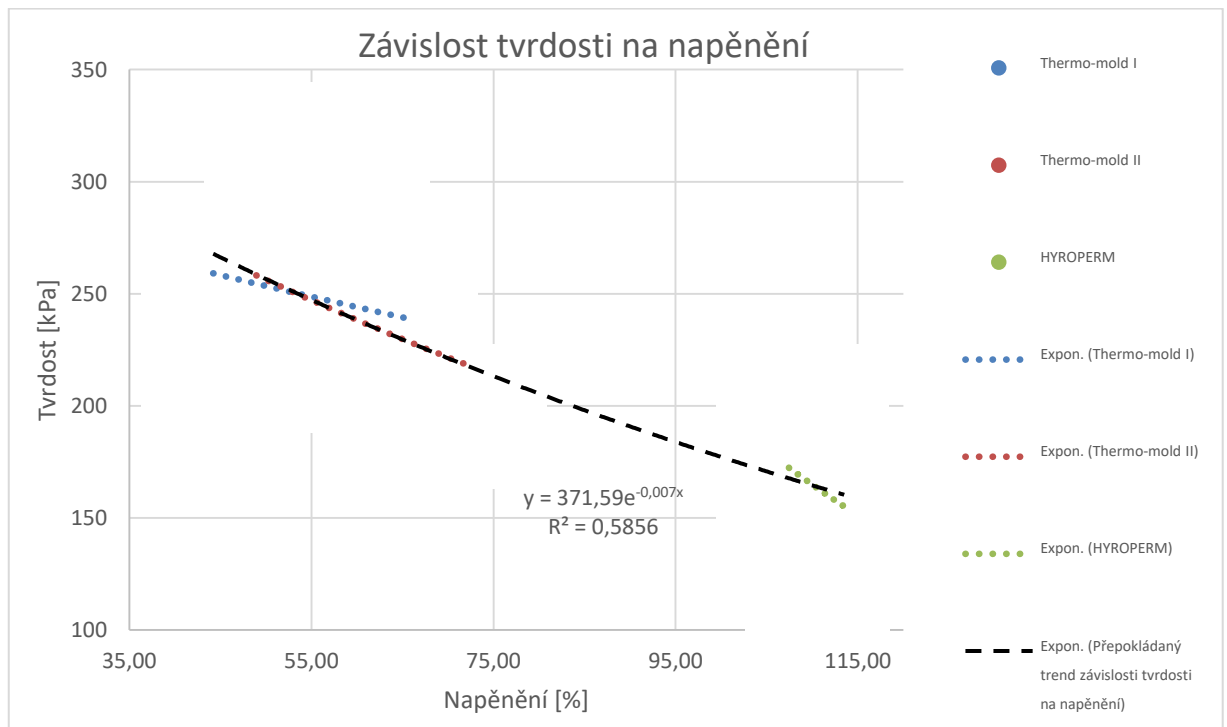
Z grafu lze vyčíst, že závislost tvrdosti na napětění je lineární (*Graf 3*). Hodnota spolehlivosti je $R^2 = 0,5856$.

V technickém předpisu jsou dané tyto limitní hodnoty:

Tvrdość: 225 – 350 [kPa]

Napětění: 40 – 70 %

Graf 3. Závislost tvrdosti na napětění

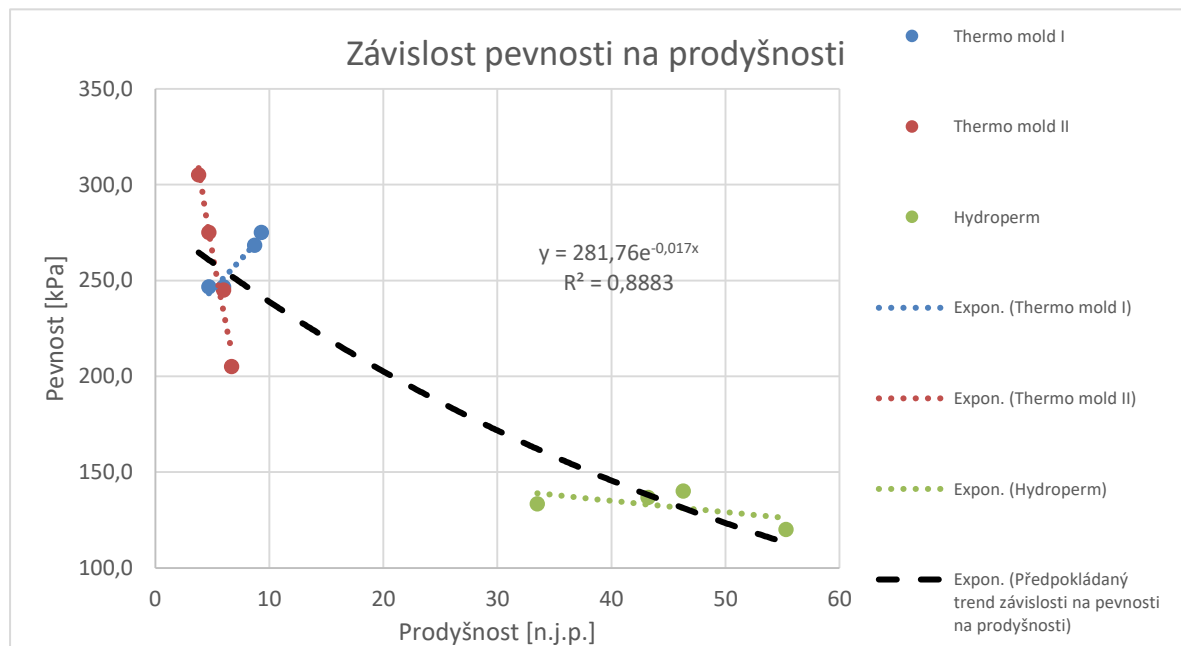


Z grafu lze vyčíst, že u sádrových jader, které jsou v toleranci tvrdosti, se napětění opravdu pohybuje od 40 do 70%.

Závislost pevnosti na prodyšnosti.

Z grafu lze vyčíst, že závislost pevnosti na prodyšnosti je lineární (*Graf 4*). Hodnota spolehlivosti je $R^2 = 0,8883$.

Graf 4. Závislost pevnosti na prodyšnosti



Hodnoty pevnosti a prodyšnosti jsou pro naši výrobu více zajímavé, než tvrdost a napětí. Z grafu lze vyčíst, že závislost v obou případech je téměř srovnatelná.

15 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Samotná výroba sádrových jader umožňuje odlévání komplikovaných tvarů s vynikající rozměrovou přesností, dobrým povrchem a s minimálním množstvím vad.

Principem činnosti přípravy sádrové směsi bylo ruční a automatické míchací zařízení. Proces výroby odlitku pomocí ruční výroby sádrového jádra ukázal na nehospodárnost a nízkou flexibilitu při výrobě.

Ruční výroba sádrových jader:

- Výroba jednoho kusu – 5min.
- 1200 odlitků za rok.
- Obsluha 3 operátorů.
- Fyzicky náročný provoz.
- Ruční navažování vody a sádry.
- Prašný provoz
- Nekonstantní kvalita

Strojní výroba sádrových jader:

- Výroba jednoho kusu - 3 min.
- 1500 odlitků za rok.
- Obsluha 2 operátorů.
- Bez fyzické námahy
(automatické navažování,
odlívání za použití jeřábu)
- Bezprašný provoz
- Konstantní kvalita

Pokud jsou pomínuty výrobní vlivy při lisování pneumatiky, pak nejdůležitější pro požadovanou kvalitu pneumatik je bezchybná lisovací forma. Tvar formy - konicita a ovalita – byla za určité období sledována a kontrolována pomocí stroje Rundlauf. Požadované měření pro vyhodnocení kvality formy poukázalo na vyšší opravy při používání ručního míchání sádrové směsi. Mezi hlavní aspekty tak při snižování nákladů patří jednoznačně přechod na automatizované strojní míchací zpracování. Došlo tím ke snížení výrobního času z 5 min. na 3 min /ks., ke zvýšení vyráběného množství odlitků/rok o 300ks a ke snížení množství operátorů o jednoho pracovníka.

Tab. 18. Míchání sádry

	Ruční míchání sádrové směsi		Strojní míchání sádrové směsi a sádry			
Rok	2015	2016	2017	1/2018	2/2018	3/2018
Opravy/hod.	5862	3650	2580	187	174	153

Pro přechod na novou technologii tak byly dále testovány vhodné typy sádry. Parametrem byla prodyšnost, aby se sádra dobře sušila a byla vhodná pro odlévání kovu, zároveň dostatečná pevnost, aby nedocházelo k propadnutí sádrových jader vlivem metalostatického tlaku taveniny, ale i hodnota tvrdosti. Po určení třech druhů sáder – německého výrobce ThermoMold Foam I, ThermoMold Foam II a amerického dodavatele Hydroperm - byly tyto typy podrobeny testování.

U strojního míchání bylo hodnoceno napětění sáder. Výchozím parametrem bylo změření výšky hladiny před samotným mícháním i po zamíchání. V testech na dostatečnou tvrdost - určenou pomocí měřidla penetrometr S170, prodyšnost - měřenou pomocí přetlaku 1 kPa a testu zkoušky pevnosti v tlaku nejlépe obstála sádra ThermoMold Foam I.

Měření geometrie sádrového jádra a odlitku mělo určit odchylky od referenčního modelu v CADu. U všech testovaných sádrových jader se výsledné hodnoty od sebe minimálně lišily. Všechny se pohybovaly v rozmezí tolerance.

Měření geometrie u odlitku ze sádry ThermoMold I a II vyšel opět identicky, naopak u odlitku z Hydropermu – u programu č. 2 a č. 3 - došlo k propadlině. Sádra v daném místě nevydržela metalostatický tlak a zároveň se hodnoty pohybovaly mimo toleranci 0,2 mm.

Z výše uvedených výsledků testů a hodnot z tabulky doporučuji strojní míchání jádrových směsí, s použitím sádry německé výroby – ThermoMold Foam I.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnotit ruční a strojní míchání při výrobě sádrové směsi, testovat, vyhodnotit a doporučit vhodný typ sádry pro výrobu sádrových odlitků, zefektivnit výrobu a tím snížit náklady.

Teoretická část práce obsahuje všeobecnou charakteristiku sádry a její způsoby zpracování. Popisuje technologické vlastnosti napěněných sádrových směsí a druhy zkoušek formovacích směsí.

V praktické části byl popsán průběh výroby odlitku pro vulkanizační formy. Samotná výroba začínala frézováním modelu přes osazením modelu lamelami, výrobou silikonové formy, do které se vloží lamely a poté dojde k zalití sádrovou směsí. Výroba této směsi byla popsána ruční i strojní metodou. Vzniklé sádrové jádro prošlo kontrolou geometrie. Po vysušení se sádrové jádro seskládalo do kruhu na licí desku, dle dílenských přípravků a opět došlo k dalšímu dosušení. Po vyjmutí ze sušící pece a zaformování se vše odlilo hliníkovou slitinou. Po vytlučení pískové formy vznikl surový odlitek, který pokračoval na další opracování do výroby.

Další kapitola se podrobněji zabývala strojní výrobou sádrové směsi. Novou technologií byly míchány tři druhy sádry, čtyřmi programy. Z 12 receptur bylo vyrobeno 12 ks sádrových jader, ze kterých se odlilo 12 ks hliníkových segmentů. Ke každému sádrovému jádru bylo dále vyrobeno 6 ks sádrových válečků (12 x 6 válečků), o průměru ϕ 50 mm a výšce 50 mm.

Další část práce popisovala průběh testů všech 72 ks sádrových válečků, které se testovaly na tlak, napěnění, prodyšnost a tvrdost. Hliníkové segmenty byly podrobeny testování geometrie, došlo k porovnání s 3D modelem. Tyto testy byly podrobně popsány a vyhodnoceny. Důraz byl kladen především na výběr a doporučení vhodného typu sádry pro výrobu sádrových jader. Pomocí 3D laserového scanneru byla konfrontována přesnost přenesení vzoru dezénu. Za určité období byla porovnána uniformita hliníkového odlitku při výrobě ruční a strojní sádrové směsi.

Jako nejméně vhodný typ pro strojní výrobu testy ukázaly sádru Hydroperm. Přestože měla výbornou prodyšnost, nesplnila ale požadavek na tvrdost. V testu 3D optického měření odlitku u této sádry došlo k propadlinám.

Sádra ThermoMold Foam II vyšla ve všech testech mnohem lépe. Některé hodnoty byly sice pod tolerancí, ale ty by se daly upravit strojním nastavením. Nevýhodou je její cena. Je dražší o 0,5 Eur/kg oproti sádře ThermoMold Foam I.

Dle výsledků doporučuji používat automatické míchací zařízení pro výrobu sádrové směsi, dle testovaných programů. Kvalita výroby sáder je kontinuální. Jako nejvhodnější sádro, kdy se výsledné parametry nejvíce přibližovaly našim požadavkům, navrhuji pro výrobu typ sádry ThermoMold Foam I.

Díky optimalizaci výroby sádrových jader pro vulkanizační formy došlo ke snížení výrobního času z 5 min. na 3 min /ks., ke zvýšení vyráběného množství odlitků/rok o 300 ks, ke snížení množství operátorů - o jednoho pracovníka a ke snížení oprav uniformity - o 40% za rok.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JIRÁSEK, J., VAVRO, M.: Nerostné suroviny a jejich využití. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3
- [2] Anorganická pojiva [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html#vyrobasad
- [3] Anorganická pojiva [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: http://www.spsstavcb.cz/download2/633_2456_cs_10_pojiva_-_sadra.pdf
- [4] Anorganická pojiva – studijní opora [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/18_Anorganicka_pojiva/Topinkova_Anorganicka_pojiva.pdf
- [5] FORMSERVIS, spol. s r.o., Zkoušení formovacích a jádrových směsí-metody a postupy, Brno, 2006, 123 s.
- [6] GAWLICKI, M.: Gypsum – another approach. Cement Wapno Beton 2009
- [7] GAZDIČ, D., Výzkum a vývoj síranových pojiv na bázi anhydritu. Brno, 2010. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
- [8] HLAVÁČ, Jan. Základy technologie silikátů. 2. uprav. vyd. Praha: SNTL - ALFA, 1988. 516 s. ISBN 72.00
- [9] HORÁČEK, M. Technologie vytavitelného modelu. Slévárenství, 2001, roč. 2001, č. 10, s. 570 ISSN: 0037- 6825.
- [10] HORÁČEK, M.; ZEMČÍK, L.; KOSOUR, V.; STACHOVEC, I.; SOUKUPOVÁ, L.; VAŠŤÁK, P.; HORENSKÝ, J.; JEDOVNICKÝ, J. Research and development of technology for large, thin wall, high quality aluminium castings for aircraft industry. Foundry Trade Journal, 2015, roč. 189, č. 3730. ISSN: 0015- 9042.
- KALLAUNER, Otakar. Staviva. II. vyd. Praha: SNTL, 1959, 224 s.
- [11] JANCO, N. 1992. Centrifugal casting. Des Plaines: American Foundrymen's Society, 96 s. ISBN 08-743-3110-2.
- [12] Konstruieren und Giessen. 2008. Düsseldorf: V D I Verlag GmbH. ISBN 0341-6615. ISSN 3-87260-148-2.

- [13] KOTLÍK, P., Stavební materiály historických objektů. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha 1999. ISBN 80-7080-347-9
- [14] NOVÁ, Iva. Tepelné zpracování forem ze sádrových směsí používaných při výrobě přesných odlitek. Kandidátská disertační práce. Liberec, VŠST - FS 1985, 141 s.
- [15] NOVÁ, I. Teorie slévání I. [Skripta]. FS-KSP, TU v Liberci 2006.
- [16] ODSTRČIL, B., EXNER, J.: Problémy rozměrové a tvarové přesnosti přesní odlitky a její normalizace. Referát na symposiu "O přesné odlévání metodou vytavitelného modelů.", Brno 1968.
- [17] PŘICHYSTALOVÁ, E.; Netradiční stavební pojiva: diplomová práce. Brno, 2010. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [18] PUTTNER, J.; Využití chloridových cementářských odprašků k přípravě dehydratačních roztoků pro výrobu alfa sádry. Brno, 2011, 96 s. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [19] RUSÍN, Karel. Slévárenské formovací materiály. 1. vyd. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1991. 392 s. ISBN 80-03-00278-8.
- [20] SCHULZE, W., TISCHER, W., ETTTEL, W, LACH, V., Necementové malty a betony, SNTL, Praha 1990, ISBN 80-03-00188-9.
- [21] SLAVÍK, Miroslav a Petr NOVOTNÝ. Slévárenská technologie I. díl. Brno: Svaz sléváren ČŘ, 2007. ISBN 978-80-87088-06-7.
- [22] TREJO, E., aj. Effect of Mold Design on Porosity and Strenght of a Centrifugally Cast Aluminium Alloy. Transactions AFS. 2011, roč. 119, no. 69, s. 57–66. ISBN 0-87433-155-2.
- [23] VACEK, Mojmir a kol. Stomatologické materiály. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1980. 227 s.
- [24] VAVŘÍN, F., Maltoviny, 3. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987, 253 stran.
- [25] Zkoušení stavebních hmot a výrobků [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty_sadra

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VFB	Výroba forem Continental
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
SLS	Selective Laser Sintering
CNC	Computer Numeric Control
ČSN	Česká státní norma
n.j.p.	Normální jednotka prodyšnosti
bar	jednotka tlaku
F	Síla.
p	Tlak
σ	Tahové napětí
q	Konstanta dána povahou materiálu
ε_k	Pórovitost sádry s nulovou pevností
ε	Pórovitost
ω	Vodní součinitel
σ_o	Pevnost v ohybu
P	Prodyšnost formovací směsi
V_v	objem vzduchu prošlý vzorkem
h	Výška zkušebního válečku
S	Plocha
t	Čas
kg	Kilogram
mm	Milimetr
V	Volt
s	Sekunda
f	Napěnění
g	Gram
min^{-1}	Otáčky
$^{\circ}\text{C}$	Teplota
h_1	výška hladiny sádrové směsi před napěněním
h_2	výška hladiny sádrové směsi po napěněním

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Popis vzorce - částečné dehydratace sádrovce

Obr. 2. Popis vzorce - úplná dehydratace sádrovce

Obr. 3. α -hemihydrát síranu vápenatého.

Obr. 4. Autokláv

Obr. 5. β -hemihydrát síranu vápenatého

Obr. 6. Rošt A.N. Knaufa

Obr. 7. Sušicí mlýn

Obr. 8. Rotačkový kalcinátor firmy Bütner-Schilde-Haas

Obr. 9. Sušicí mlýn systému Claudius-Peters

Obr. 10. Porovnání α a β - hemihydrátu.

Obr. 11. Srovnání průběhu hydratace a nárůstu pevnosti u α a β - sádry.

Obr. 12. Základní fáze systému $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ a jejich vlastnosti

Obr. 13. Schéma dehydratace sádrovce a vznik jednotlivých fází v systému $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

Obr. 14. Pojivový můstek

Obr. 15. Schéma přístroje na měření prodyšnosti

Obr. 16. Tahová zkouška

Obr. 17. Vzorek na ohybovou zkoušku

Obr. 18. Tlaková zkouška

Obr. 19. Proces výroby odlitku.

Obr. 20. Lití pod tlakem

Obr. 21. Lití svislé a vodorovné.

Obr. 22. Lití svislé a vodorovné.

Obr. 23. Sestava formy na lisování pneumatik pro osobní automobily

Obr. 24. Pětiosá frézka DMG MORI.

Obr. 25. Model osazen lamelami.

Obr. 26. Zaformovaný model a zalitý silikonem.

Obr. 27. Silikonová forma osazena lamelami.

Obr. 28. Ruční vážení s ručním mícháním.

Obr. 29. Strojní míchací zařízení Vacumat SN 18.

Obr. 30. Sádrové jádro s lamelami.

Obr. 31. Proces výroby vulkanizační formy od modelu až po odlitek - ruční výroba sádrového jádra.

Obr. 32. Výroba pískové formy.

Obr. 33. Hliníkový odlitek.

Obr. 34. Surový odlitek.

Obr. 35. Náčrt automatického stroje na míchání sádrové směsi.

Obr. 36. Stroj na míchání sádrové směsi.

Obr. 37. Proces výroby vulkanizační formy od modelu až po odlitek - strojní výroba sádrového jádra.

Obr. 38. Penetrometr S 170.

Obr. 39. Testovaný vzorek sádry.

Obr. 40. Přístroj +GF+ na měření prodyšnosti.

Obr. 41. Přístroj SIMPSON - stanovení pevnosti směsi.

Obr. 42. Přístroj Breuckmann stereo SCAN3D – HE – na měření sádry.

Obr. 43. 3D model.

Obr. 44. Přístroj pro měření uniformity.

Obr. 45. Barevná mapa sádry Hydroperm.

Obr. 46. Scann odlitku – vady

Obr. 47. Odlitek - vada

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Závislost prodyšnosti na napětění.

Graf 2. Závislost pevnosti na tvrdosti.

Graf 3. Závislost tvrdosti na napětění

Graf 4. Závislost pevnosti na prodyšnosti

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vlastnosti některých druhů sádry.

Tab. 2. Vliv míchání sádry na dobu tuhnutí (sádra alabastrová).

Tab. 3. Přísady ovlivňující sádrové směsi.

Tab. 4. Přehled napěňovadel sádrových směsí. (1FP - jednofázová příprava, 2FP - dvoufázová příprava).

Tab. 5. poměry pro ruční výrobu sádrové směsi.

Tab. 6. Technické data sádry Thermomold I – II

Tab. 7. Složení sádry Hydroperm

Tab. 8. Strojní parametry pro výrobu sádrových směsí.

Tab. 9. Výsledky testu na napěnění THERMOMOLD I

Tab. 10. Výsledky testu na napěnění THERMOMOLD II

Tab. 11. Strojní parametry pro výrobu sádrových jader HYDROPERM.

Tab. 12. Výsledky testu na napěnění HYDROPERM

Tab. 13. Výsledky zkoušky na tvrdost sádrové směsi

Tab. 13. Výsledky zkoušky na tvrdost sádrové směsi.

Tab. 14. Tab. Výsledků prodyšnosti.

Tab. 15. Specifikace přístroje SIMPSON

Tab. 16. Výsledky pevnosti v tlaku

Tab. 17. Vývoj oprav uniformity zadané období

Tab. 18. Míchání sádry

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Necuron 651

Příloha P II: Materiálový list Thermomold Foam I -II.

Příloha P III: Materiálový list HYDROFOAM

Příloha P IV: Technický list Stereoscan 3D-HE

Příloha P V: Scann sádry a odlitků, foto odlitků

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST NECURON 651

Materiálové listy

Datum vydání: 15.2.2010

NECURON 651

Deskový a blokový materiál, strojově lehce a rychle opracovatelný pro všeobecné modelářství

Oblasti použití: (Hlavní)	Prototypové a kopírovací modely Navrhářské modely Pracovní modely	
Barva:	Hnědá	
Technická data:	Koeficient tepelné roztažnost (ISO 75):	ca. $52 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
	Teplotní odolnost:	ca. 70 °C
	Tvrdość Shore D (ISO 868):	ca. 67
	Pevnost v tlaku (ISO 604):	ca. 26 N/mm ²
	Pevnost v ohybu (ISO 178):	ca. 30 N/mm ²
	Měrná hmotnost:	ca. 0,70 g/cm ³
	<ul style="list-style-type: none">• neobsahuje žádné halogeny, změkčovadla nebo rozpouštědla• vyrobeno bez přísad znečišťující vodu• fyziologicky bez podezření	
Rozměry: (Standard)	1 500 x 500 x 50	1 200 x 500 x 130
	1 500 x 500 x 75	1 200 x 500 x 150
	1 500 x 500 x 100	
	1 500 x 500 x 130	
	1 500 x 500 x 150	
	Povrchy rovnoběžně opracovány, jiné rozměry na zakázku	
Zpracování:	Lepidlo:	NECURON® K6 nebo NECURON® K8 nebo v modelářství obvyklá lepidla/pryskyřice nebo tmely
	Tmel:	NECURON® S6
	Přelakování:	běžnými spreji nebo pryskyřicemi
Nástroje:	Nástroje pro zpracování dřeva nebo kovu	

NECURON 651

- neobsahuje žádná plnidla, která uvolňují při broušení nebezpečný prach. Obsah prachu ve vzduchu by přesto neměl překročit 6 mg/m³. Při zpracování by měla být dodržována ochranná opatření, doporučena profesní skupinou chemického průmyslu.

- ve vytvrzeném stavu není žádná nebezpečná látka ve smyslu nařízení o nebezpečných látkách. Její odpady je možno spalovat ve vhodném povoleném zařízení nebo přivážet na povolenou skládku za dodržení zákonných předpisů

- technické údaje a doporučení se vztahují na současný platný stav techniky a zakládají se na naši dlouholeté zkušenosti. Vyhrazujeme si další vývoj a vylepšování. Na základě mnohostrannosti v možnostech zpracování doporučujeme vlastní odzkoušení k dosažení optimálních výsledků.

Výrobce: NECUMER-PRODUCT, GmbH, Bruchheide 16, D-49163 Bohmte, Německo

Dovozce: Ing. Miroslav Sikora, Nebory 109, 73961 Třinec, Česká republika

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST THERMOMOLD FOAM I - II

THERMOMOLD FOAM

Lití kovů

POPIS PRODUKTU

THERMOMOLD FOAM je připravována jako napěněná žáruvzdorná sádra pro odlévání slévarenských forem. Je zvláště vhodná pro odlévání hliníkových slitin pro svou rozměrovou přesnost, vynikající povrchovou stálost a vysokou propustnost.

VÝHODY

- + Vyrobeno přímo pro lití hliníkových slitin
- + Napěněná sádra
- + Dobrá povrchová opracovatelnost

APLIKACE

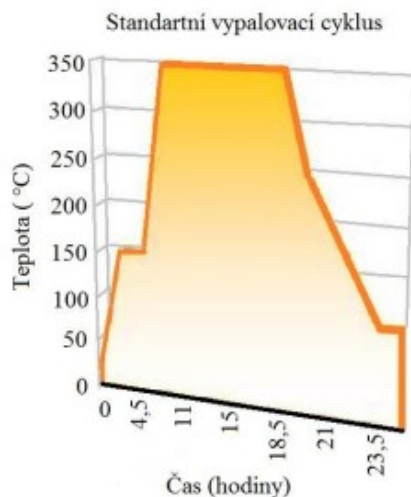
Průmyslové lití, obuv, pneumatiky

TECHNICKÉ INFORMACE

ŽÁRUVZDORNÁ	
% Použitá voda	94
Doba míchání (minuty)	3
Pracovní / lící čas (minuty)	4
Počátek tuhnutí (minuty)	7-13
Líněární roztažnost 2 hodiny po začátku tuhnutí %	0.08

Uvedené technické data jsou pouze číselné vyjádření. Pro více informací se obraťte přímo na společnost Saint-Gobain Formula.

NÁVOD K POUŽITÍ



Doporučený poměr mezi sádrkou a vzduchem je může být upraven, ale je nutné přesně zvážit množství hmotnosti vody a sádry.

Příprava modelu:

Model očistěte pomocí stlačeného vzduchu od prachu a aplikujte na něj separační prostředek.

Míchání:

Míchání sádry ve vodě je nejdůležitějším krokem při výrobě sádrové formy a při nesprávném použití může těžce ovlivnit odolnost proti nárazům, tvrdost a absorpční vlastnosti.

Vždy se před začátkem míchání ujistěte, že veškeré vybavení je čisté.

Ujistěte se, že teplota při míchání nepřekročí 20-25°C. Účinnost napěnění sádry silně závisí na teplotě použité vody.

Nasypte sádru do vody a nechte ji nasáhnout po dobu 1 minuty.

Pro ideální míchání by měl mít míchací kotouč průměr 2/3 průměru nádrže, ve které budeme míchání provádět.

Míchejte po dobu 2 až 3 minut při doporučených otáčkách 2000-2500 otáček za minutu.

(Vír při míchání by měl tvořit bubliny, které by měly být homogenní).

Pro vytvoření bublin pomocí vysokorychlostního mixéru použijte lopatky vyrobené z kovu, plastu či gumy.

Objem bublin a tím provzdušnění sádry závisí na typu a velikosti mixéru a doby míchání.

Pro více informací o tomto procesu kontaktuje společnost Formula.

Odlitek

Sádro nalijte do formy bezprostředně po míchání. Ujistěte se, že sádra není příliš hustá a příliš tvrdá. Doporučuje se sádro postupně lit tak, aby pomalu pokrývala povrch formy.

Vytvrzení sádry

Nedotýkejte se sádrové formy dokud neproběhne její vytvrzení, aby se zabránilo ve vzniku případných vad na povrchu. Vyjmout z formy.

Po vytvrzení, zhruba po 45 minutách můžeme se sádrovou formou manipulovat. Tvrdost a propustnost formy je závislá na poměru sádry a vody během míchání.

Vypalování

Vypalování se může uskutečnit v klasické peci nebo v peci s cirkulací vzduchu. Použití trouby s cirkulací vzduchu snižuje čas vypalovacího cyklu.

Tato fáze se obecně provádí při teplotě vyšší než 200°C po dobu 30 až 72 hodin.

Před nalitím kovů se ujistěte, že forma neobsahuje žádnou vlhkost, aby se zabránilo tvorbě nedokonalostí odlitků při odlévání.

Poznámka: Doba sušení je silně závislá na velikosti a počtu sádrových forem v troubě

Kov se do sádrové formy musí nalít bezprostředně po vyjmutí z trouby.

Čištění odlitku

Forma se nechá vychladout a pak se rozbije ponořením do vody a nebo pomocí systému s vysokotlakým čištěním.

BALENÍ A TRVANLIVOST

	Balení k dispozici	Životnost (měsíce)
Pytel	25 kg	12

Pokud je výrobek skladován v suchu a originálním obalu, tak bude mít stanovenou životnost, která začíná datem výroby, jenž je uveden na každém pytli. Trvanlivost záleží na typu obalu. Pro produkty, kde je definována minimální trvanlivost se doporučuje zapsat na pytel datum jeho otevření.

ULOŽENÍ

Sádrové výrobky není vhodné ukládat do míst, kde jsou vystaveny povětrnostním vlivům nebo do míst, kde je zvýšená vlhkost.

Absorpce vlhkosti může mít za následek změnu fyzikálních vlastností, včetně navýšení doby tuhnutí, protože minerály obsažené v sádře mohou být ovlivněny vlhkostí.

Pro ochranu sádrové formy ji během používání uzavřete do plastových balíčků, které označíte datem. Formy používejte rotačním způsobem tak, aby nejstarší materiál byl použit jako první.

CERTIFIKACE

Tento výrobek může vytvářet prach. Proto se doporučuje vždy během práce s tímto výrobkem používat ochranu masku a dále se doporučuje zajistit větrání pracoviště.

ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, ZDRAVÍ A BEZPEČNOST

Materiálové bezpečnostní listy Saint-Gobain

Dokumentace k sádře a sádrovým minerálům jsou k dispozici přímo na webových stránkách v sekci produkt a dokumentace.

Společnost Saint-Gobain Formula nepřijímá žádnou odpovědnost za újmu na zdraví osob nebo poškození majetku nesprávným používáním výrobku.



Thermomold Foam

2015 / 12 / 15 - 17:24
2 / 3

OZNÁMENÍ

Poměr sádry a vody je používán u Saint-Gobain jako vzorec pro standardní zkušební metodu a není nutné ho používat v praxi.

Přesná konzistence použití je individuální. Změna poměru sádry a vody bude mít vliv na výkon produktu, zejména na dobu tuhnutí a pevnost.

Pokud nejsou v dokumentu uvedeny jiné metody platí standardní zkušební metody firmy Saint-Gobain Formula.

Chcete-li získat kopii zkušebních metod obraťte se přímo na naši společnost Saint-Gobain Formula.

Tato literatu ruší a plně nahrazuje všechny přechodí dokumenty. Veškeré informace jsou poskytovány v dobré víře a mohou podléhat změnám.

Pokud máte pochybnosti ohledně obsahu nějakých informací doporučujeme se obrátit na naši společnost Saint-Gobain Formula.

KONTAKT

Pro jakékoliv informace navštivte náš web

www.saintgobainformula.com



OBCHODNÍ KONTAKT



DOKUMENTACE



TECHNICKÉ
INFORMACE



GLOBÁLNÍ
INFORMACE

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST HYDROPERM



MATERIAL SAFETY DATA SHEET HYDROPERM® Metal Casting Plaster

MSDS #52-165-001
Page 1 of 9

SECTION 1 CHEMICAL PRODUCT AND IDENTIFICATION	
United States Gypsum Company 550 West Adams Street Chicago, Illinois 60661-3637 A Subsidiary of USG Corporation	
Product Safety: 1 (800) 507-8899 www.usg.com Version Date: January 1, 2011 Version: 5	
PRODUCT(S)	HYDROPERM® Metal Casting Plaster
CHEMICAL FAMILY / GENERAL CATEGORY	Industrial Products, Tooling and Prototyping
SYNONYMS	Formulated product containing Plaster of Paris (Calcium Sulfate Hemihydrate) (CaSO4•½H2O)
SECTION 2 HAZARD IDENTIFICATION	
EMERGENCY OVERVIEW: ΔWARNING! This product is not expected to produce any unusual hazards during normal use. Exposure to high dust levels may irritate the skin, eyes, nose, throat, or upper respiratory tract. Portland cement is a nuisance dust. However, portland cement is strongly alkaline and can cause severe injury. Contact with eyes or skin can cause irritation and possible irreversible tissue damage, corrosion damage, chemical burning and corneal damage. Wear eye and skin protection. Prolonged and repeated breathing of respirable talc dust may cause lung disease (pneumoconiosis).	
POTENTIAL HEALTH EFFECTS (See Section 11 for more information)	
ACUTE :	
Inhalation	Exposure to dust generated during the handling or use of the product may cause temporary irritation to eyes, skin, nose, throat, and upper respiratory tract. Persons subjected to large amounts of this dust will be forced to leave area because of nuisance conditions such as coughing, sneezing and nasal irritation. Labored breathing may occur after excessive inhalation. If respiratory symptoms persist, consult physician. Inhalation of portland cement dust can irritate or burn the nose, throat, and mucous membrane of the upper respiratory tract. Signs of excessive exposure to this dust include shortness of breath and reduced pulmonary function. If respiratory symptoms persist, consult physician.
Eyes	Dust can cause temporary mechanical irritation of eyes. If burning, redness, itching, pain or other symptoms persist or develop, consult physician. Portland Cement is a strongly alkaline material and is very irritating to eyes. The extent of damage depends on duration of contact. Rapid response is very important to prevent significant damage to the eye (See Section 4, First Aid Measures). Portland cement can cause burns and cornea damage that may result in permanent damage with risk of blindness. Contact lenses should not be worn when working with portland cement. If burning, redness, itching, pain or other symptoms persist or develop, consult physician.
Skin	None known.
Ingestion	None known.
CHRONIC:	
Inhalation	Exposures to respirable crystalline silica are not expected during the normal use of this product; however, actual levels must be determined by workplace hygiene testing. Prolonged and repeated



MATERIAL SAFETY DATA SHEET HYDROPERM® Metal Casting Plaster

MSDS #52-165-001
Page 2 of 9

exposure to airborne free respirable crystalline silica can result in lung disease (i.e., silicosis) and/or lung cancer. The development of silicosis may increase the risks of additional health effects. The risk of developing silicosis is dependent upon the exposure intensity and duration. Prolonged and repeated breathing of respirable talc dust may cause lung disease (pneumoconiosis). The extent and severity of lung injury correlates with the length of exposure and dust concentration.				
Eyes	None known.			
Skin	None known.			
Ingestion	None known.			
TARGET ORGANS: Eyes, skin and respiratory system.				
PRIMARY ROUTES OF ENTRY: Inhalation, eyes and skin contact.				
CARCINOGENICITY CLASSIFICATION OF INGREDIENT(S) All substances listed are associated with the nature of the raw materials used in the manufacture of this product and are not independent components of the product formulation. All substances, if present, are at levels well below regulatory limits. See Section 11: Toxicology Information for detailed information.				
MATERIAL	IARC	NTP	ACGIH	CAL-65
Crystalline silica	1	1	A2	Listed
IARC - International Agency for Research on Cancer: 1- Carcinogenic to humans; 2A - Probably carcinogenic to humans; 2B - Possibly carcinogenic to humans; 3 - Not classifiable as a carcinogen; 4 - Probably not a carcinogen				
NTP - National Toxicology Program (Health and Human Services Dept., Public Health Service, NIH/NIEHS): 1- Known to be carcinogen; 2- Anticipated to be carcinogens				
ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists: A1 - Confirmed human carcinogen; A2 - Suspected human carcinogen; A3 - Animal carcinogen; A4 - Not classifiable as a carcinogen; A5 - Not suspected as a human carcinogen				
CAL-65 - California Proposition 65 "Chemicals known to the State of California to Cause Cancer"				
Respirable crystalline silica: IARC: Group 1 carcinogen, NTP: Known human carcinogen. The weight percent of crystalline silica given represents total quartz and not the respirable fraction. The weight percent of respirable silica has not been measured in this product.				
POTENTIAL ENVIRONMENTAL EFFECTS: Toxicity studies performed with fish, aquatic invertebrates and aquatic plants showed no toxic effect. Portland cement is expected to be toxic to fish due to its high alkalinity (pH > 12). Discharge of large quantities directly into waterways would be expected to cause significant fish kills. (See Section 12 for more information.)				
SECTION 3 COMPOSITION, INFORMATION ON INGREDIENTS				
MATERIAL	WT%	CAS #		
Plaster of Paris (CaSO4•½H2O)	>70	26495-65-0		
Talc	<2	14809-96-6		
Portland Cement	<2	65997-15-1		
Crystalline Silica	<5	14808-60-7*		
All ingredients of this product are included in the U.S. Environmental Protection Agency's Toxic Substances Control Act Chemical Substance Inventory and the Canadian Domestic Substances List (DSL).				
*The weight percent for silica represents total quartz and not the respirable fraction.				



SECTION 4 FIRST AID MEASURES	
FIRST AID PROCEDURES	
Inhalation	Remove to fresh air. Leave the area of exposure and remain away until coughing and other symptoms subside. Other measures are usually not necessary, however if conditions warrant, contact physician.
Eyes	In case of contact, do not rub or scratch your eyes. Due to portland cement content in this product, if eye contact occurs immediately flush eyes with copious amounts of water, occasionally lifting the lower and upper lids. Get medical attention immediately. Contact lenses should not be worn when working with this material.
Skin	To prevent the drying effect of plaster of paris, wash with mild soap and water. A commercially available hand lotion may be used to treat dry skin areas. If skin has become cracked, take appropriate action to prevent infection and promote healing. If irritation persists, consult physician. Because of the potential of chemical burns due to the portland cement content of this product, flush exposed skin with copious amounts of water for at least 15 minutes depending on concentration, amount and duration of exposure. Wash with mild soap and water. Immediately remove all contaminated clothing, including footwear. Launder clothing before reuse. If irritation or pain persists get medical attention immediately. A commercially available hand lotion may be used to treat dry skin areas. If skin has become cracked, take appropriate action to prevent infection and promote healing. If irritation persists, consult physician.
Ingestion	Plaster of paris hardens and, if ingested, may result in obstruction of the gut, especially the pyloric region. Drinking gelatin solutions or large volumes of water may delay setting. Due to the alkalinity caused by the portland cement content of this product, get medical attention immediately.
<p>MEDICAL CONDITIONS WHICH MAY BE AGGRAVATED: Pre-existing upper respiratory and lung diseases such as, but not limited to, bronchitis, emphysema and asthma. Pre-existing skin diseases such as, but not limited to, rashes and dermatitis. Some individuals with unusual hypersensitivity to hexavalent chromium (chromium+6) salts may exhibit an allergic response to portland cement, due to trace amounts of chromium in the portland cement. The response may appear in a variety of forms ranging from a mild rash to severe skin ulcers. Sensitized individuals may react immediately upon contact and others may first experience this effect after years of contact with portland cement products.</p> <p>NOTES TO PHYSICIAN: Skin irritation may occur hours or days after the time of portland cement exposure. The main types of skin reactions seen are dermatitis of the hands, forearms, and feet seborrheic eczema, stasis dermatitis, and, occasionally exfoliative dermatitis.</p>	

SECTION 5 FIRE FIGHTING MEASURES			
General Fire Hazards			
		Not expected to burn.	
Extinguishing Media			
		Water or use extinguishing media appropriate for surrounding fire.	
Special Fire Fighting Procedures			
		Wear appropriate personal protective equipment. See section 8.	
Unusual Fire/ Explosion Hazards			
		None known	
Hazardous Combustion Products			
		Above 1450° C - decomposes to calcium oxide (CaO) and sulfur dioxide (SO2).	
Flash Point	Not Determined	Auto Ignition	Not Applicable
Method Used	Not Applicable	Flammability Classification	Not Applicable
Upper Flammable Limit (UFL)	Not Determined	Rate of Burning	Not Applicable
Lower Flammable Limit (LFL)	Not Determined		



SECTION 6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES	
CONTAINMENT: No special precautions. Wear appropriate personal protective equipment. See section 8.	
CLEAN-UP: Use normal clean up procedures. No special precautions.	
DISPOSAL: Follow all local, state, provincial and federal regulations. Never discharge large releases directly into sewers or surface waters.	

SECTION 7 HANDLING AND STORAGE	
HANDLING: Avoid dust contact with eyes and skin. Wear the appropriate eye and skin protection against dust (See Section 8). Minimize dust generation and accumulation. Avoid breathing dust. Wear the appropriate respiratory protection against dust in poorly ventilated areas and if TLV is exceeded (see Sections 2 and 8). Use good safety and industrial hygiene practices.	
STORAGE: Store in a cool, dry, ventilated area away from sources of heat, moisture and incompatibilities (see Section 10). As a dry powder, dew point conditions or other conditions causing presence of liquid will harden plaster of paris during storage.	

SECTION 8 EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION			
MATERIAL	WT%	TLV (mg/m³)	PEL(mg/m³)
Plaster of Paris (CaSO4+½H2O)	>70	10	15 (T) / 5 (R)
Talc	<25	2 (R)	20 mppcf
Portland Cement	<2	10	15 (T) / 5 (R)
Crystalline Silica	<5	0.025 (R)	0.1 (R)
(T)-Total; (R)-Respirable; (NE)-Not Established; (C)-Ceiling; (STEL)-Short-term exposure limit (F)-Fume; (Du)-Dust; (M)-Mist ppm-part per million; /cc-fiber per cubic centimeter; mppcf- million particles per cubic foot			
ENGINEERING CONTROLS: Provide ventilation sufficient to control airborne dust levels. If user operations generate airborne dust, use ventilation to keep dust concentrations below permissible exposure limits. Where general ventilation is inadequate, use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to control dust levels below permissible exposure limits.			
RESPIRATORY PROTECTION: Wear a NIOSH/MSHA-approved respirator equipped with particulate cartridges when dusty in poorly ventilated areas, and if TLV is exceeded. A respiratory program that meets OSHA's 29 CFR 1910.134 and ANSI Z88.2 requirements must be followed whenever workplace conditions warrant a respirator's use. If engineering controls are not possible, wear a properly fitted NIOSH/MSHA-approved particulate respirator.			

OTHER PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT:			
Eye/Face	Due to portland cement content in this product, wear safety glasses with side shields or goggles for eye protection to avoid irritation and severe chemical burns of the eye. Facilities storing or using this material should be equipped with an adequate number of eyewash facilities and safety showers. Contact lenses should not be worn when working with portland cement.		
Skin	Wear gloves and protective clothing to prevent repeated or prolonged skin contact.		
General	Selection of Personal Protective Equipment will depend on environmental working conditions and operations.		
SECTION 9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES			
Appearance	Gray to off white	Vapor Density (Air = 1)	Not Applicable
Odor	Low to no odor	Specific Gravity (H ₂ O = 1)	~2.96 (Plaster of Paris), ~2.7 (Talc)
Odor Threshold	Not Determined	Solubility in water (g/100g)	0.15 - 0.40 (Plaster of Paris), Insoluble (Talc)
Physical State	Solid/ Powder	Partition Coefficient	Not Determined
pH @ 25 ° C	~11	Auto-ignition Temp	Not Determined
Melting Point	Not Applicable	Decomposition Temp	Not Determined
Freezing Point	Not Applicable	Viscosity	Not Applicable
Boiling Point	Not Applicable	Particle Size	Varies
Flash Point	Not Determined	Bulk Density	~ 185 lb/ft ³
Evaporation Rate (BuAc = 1)	Not Applicable	Molecular Weight	Mixture
Upper Flammable Limit (UFL)	Not Determined	VOC Content	Zero g/L
Lower Flammable Limit (LFL)	Not Determined	Percent Volatile	Zero
Vapor Pressure (mm Hg)	Not Applicable		
SECTION 10 CHEMICAL STABILITY AND REACTIVITY			
STABILITY	Stable.		
CONDITIONS TO AVOID	Contact with acids, water, high humidity.		
INCOMPATIBILITY	Acids. Exposure to water and acids must be supervised because the reactions are vigorous and produce large amounts of heat.		
HAZARDOUS POLYMERIZATION	None known.		
HAZARDOUS DECOMPOSITION	Above 1450° C - calcium oxide (CaO) and sulfur dioxide (SO ₂).		
SECTION 11 TOXICOLOGICAL INFORMATION			

<p>ACUTE EFFECTS: The acute oral toxicity study [OECD TG 420] of calcium sulfate dihydrate showed that this chemical did not cause any changes even at 2,000 mg/kg b.w. Therefore, the oral LD50 value was more than 2,000-mg/kg b.w. for female rats. Gypsum paste applied experimentally to the eyes of rabbits was not an irritant. Gypsum dust particulate has shown an irritant action on mucous membranes of the respiratory tract and eyes. The sulfate ion has caused gastro-intestinal disturbance in humans following large oral doses. Limited studies involving the repeated inhalation of an (unspecified) calcium sulfate failed to identify any particular target organs in monkeys, rats and hamsters. No evidence of mutagenicity was found in Ames bacterial tests.</p>	
<p>CHRONIC EFFECTS / CARCINOGENICITY: Plaster of Paris: Testing of dust from USG plaster of paris has not detected respirable crystalline silica. Portland Cement: NIOSH conducted a portland cement worker study, "The Mortality of U.S. Portland Cement and Quarry Workers", March 1985, which found "There is no excess mortality from all causes of death, lung cancer, non-malignant respiratory disease, or ischemic heart disease" among the workers studied. Crystalline Silica: Exposures to respirable crystalline silica are not expected during the normal use of this product; however, actual levels must be determined by workplace hygiene testing. The weight percent of respirable crystalline silica may not have been measured in this product. Prolonged and repeated exposure to airborne free respirable crystalline silica can result in lung disease (i.e. silicosis) and/or lung cancer. The development of silicosis may increase the risks of additional health effects. Smoking in combination with silica exposures increases the risk of cancer. The risk of developing silicosis is dependent upon the exposure intensity and duration. In June, 1997, IARC classified crystalline silica (quartz and cristobalite) as a human carcinogen. In making the overall evaluation, the IARC Working Group noted that carcinogenicity in humans was not detected in all industrial circumstances studied. Carcinogenicity may be dependent on inherent characteristics of the crystalline silica or on external factors affecting its biological activity or distribution of its polymorphs. IARC states that crystalline silica inhaled in the form of quartz or cristobalite from occupational sources is carcinogenic to humans (Group 1). Talc: Prolonged and repeated breathing of respirable talc dust may cause lung disease (pneumoconiosis). The extent and severity of lung injury correlates with the length of exposure and dust concentration.</p>	
SECTION 12 ECOLOGICAL INFORMATION	
<p>ENVIRONMENTAL TOXICITY: This product has no known adverse effect on ecology. Toxicity studies performed with fish, aquatic invertebrates and aquatic plants showed no toxic effect. Portland cement is expected to be toxic to fish due to its high alkalinity (pH > 12). Discharge of large quantities directly into waterways would be expected to cause significant fish kills.</p>	
Ecotoxicity value	Not determined.
SECTION 13 DISPOSAL CONSIDERATIONS	
<p>WASTE DISPOSAL METHOD: Dispose of material in accordance with federal, state, and local regulations. Never discharge directly into sewers or surface waters. Consult with environmental regulatory agencies for guidance on acceptable disposal practices. Slurry may plug drains. Trace amounts of residue can be flushed to a drain, using plenty of water.</p>	



SECTION 14 TRANSPORT INFORMATION																																									
U.S. DOT INFORMATION: Not a hazardous material per DOT shipping requirements. Not classified or regulated.																																									
Shipping Name	Same as product name.																																								
Hazard Class	Not classified.																																								
UN/NA #	None. Not classified.																																								
Packing Group	None.																																								
Label (s) Required	Not applicable.																																								
GGVSec/MDG-Code	Not classified.																																								
ICAO/IATA-DGR	Not applicable.																																								
RID/ADR	None.																																								
ADNR	None.																																								
SECTION 15 REGULATORY INFORMATION																																									
UNITED STATES REGULATIONS																																									
All ingredients of this product are included in the U.S. Environmental Protection Agency's Toxic Substances Control Act Chemical Substance Inventory.																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>WT%</th> <th>3 0 2</th> <th>3 0 4</th> <th>3 1 3</th> <th>CERCLA</th> <th>CAA Sec. 112</th> <th>RCRA Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plaster of Paris (CaSO4*H2O)</td> <td>>70</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> </tr> <tr> <td>Talc</td> <td><25</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> </tr> <tr> <td>Portland Cement</td> <td><2</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> </tr> <tr> <td>Crystalline Silica</td> <td><5</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> <td>NL</td> </tr> </tbody> </table>		MATERIAL	WT%	3 0 2	3 0 4	3 1 3	CERCLA	CAA Sec. 112	RCRA Code	Plaster of Paris (CaSO4*H2O)	>70	NL	NL	NL	NL	NL	NL	Talc	<25	NL	NL	NL	NL	NL	NL	Portland Cement	<2	NL	NL	NL	NL	NL	NL	Crystalline Silica	<5	NL	NL	NL	NL	NL	NL
MATERIAL	WT%	3 0 2	3 0 4	3 1 3	CERCLA	CAA Sec. 112	RCRA Code																																		
Plaster of Paris (CaSO4*H2O)	>70	NL	NL	NL	NL	NL	NL																																		
Talc	<25	NL	NL	NL	NL	NL	NL																																		
Portland Cement	<2	NL	NL	NL	NL	NL	NL																																		
Crystalline Silica	<5	NL	NL	NL	NL	NL	NL																																		
Key: NL = Not Listed																																									
SARA Title III Section 302 (EPCRA) Extremely Hazardous Substances: Threshold Planning Quantity (TPQ)																																									
SARA Title III Section 304 (EPCRA) Extremely Hazardous Substances: Reportable Quantity (RQ)																																									
SARA Title III Section 313 (EPCRA) Toxic Chemicals: X= Subject to reporting under section 313																																									
CERCLA Hazardous Substances: Reportable Quantity (RQ)																																									
CAA Section 112 (r) Regulated Chemicals for Accidental Release Prevention: Threshold Quantities(TQ)																																									
RCRA Hazardous Waste: RCRA hazardous waste code																																									
CANADIAN REGULATIONS																																									
This product has been classified in accordance with the hazard criteria of Controlled Product regulations and the MSDS contains all the information required by the Controlled Products Regulations. All ingredients of this product are included in the Canadian Domestic Substances List (DSL).																																									



MATERIAL	WT%	IDL Item #	WHMIS Classification
Plaster of Paris (CaSO4*H2O)	>70	Not Listed	Not Listed
Talc	<25	Not Listed	D2A
Portland Cement	<2	Not Listed	E
Crystalline Silica	<5	1406	D2A
IDL Item#: Canadian Hazardous Products Act – Ingredient Disclosure List Item #			
WHMIS Classification: Workplace Hazardous Material Information System			
Risk and Safety Phrases defined by European Union Directive 67/548/EEC (Annex III and IV)			
R-Phrase(s): None known.			
S-Phrase(s): S22			
SECTION 16 OTHER INFORMATION			
Label Information			
Δ WARNING:			
When mixed with water, this material hardens and becomes very hot sometimes quickly. DO NOT attempt to make a cast enclosing any part of the body using this material. Failure to follow these instructions can cause severe burns that may require surgical removal of affected tissue or amputation of limb. Dust can be corrosive to eyes, skin, and respiratory tract. Contact can cause severe chemical burns. Avoid breathing dust. Dust can contain silica. Prolonged and repeated breathing of silica dust can cause lung damage and/or cancer. Wear eye, skin and respiratory protection as necessary per working conditions. If eye contact occurs flush immediately with water for 30 minutes. Do not ingest. If ingested, call physician. Frequent breathing of talc dust can cause lung disease (pneumoconiosis). Product safety information: 800-507-8899 or usg. com. Customer Service: 800 USG-4-YOU (800 874-4968). KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN.			
INFORMATION FOR HANDLING AND IDENTIFICATION OF CHEMICAL HAZARDS			
NFPA Ratings:		HMS Ratings:	
Health: 3		Health: 3	HEALTH 3
Fire: 0		Fire: 0	FLAMMABILITY 0
Reactivity: 0		Reactivity: 1	PHYSICAL HAZARD 1
E – Safety glasses, gloves and dust respirator; * - Contains silica		PERSONAL PROTECTION E	
Key/Legend			
ANSI	American National Standards Institute		
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists		
CAA	Clean Air Act		
CAS	Chemical Abstracts Service (Registry Number)		
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act of 1980		
CFR	Code of Federal Regulations		
DOT	United States Department of Transportation		



MATERIAL SAFETY DATA SHEET
HYDROPERM® Metal Casting Plaster

MSDS #52-165-001
Page 9 of 9

DSL	Canadian Domestic Substances List
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPCRA	Emergency Planning & Community Right-to-know Act
HMIS	Hazardous Materials Identification System
IARC	International Agency for Research on Cancer
MSHA	Mine Safety and Health Administration
NDSL	Canadian Non-Domestic Substances List
NFPA	National Fire Protection Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Health and Safety Administration
PEL	Permissible Exposure Limit
PPE	Personal Protection Equipment
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
SARA	Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986
TLV	Threshold Limit Value
TSCA	Toxic Substances Control Act
UN/NA#	United Nations/North America number
WHMIS	Workplace Hazardous Material Information System
Prepared by: Product Safety USG Corporation 550 West Adams Street Chicago, IL 60661-3637	
The information contained in this document applies to this specific material as supplied. It may not be valid for this material if it is used in combination with any other materials. It is the user's responsibility to satisfy oneself as to the suitability and completeness of this information for his/her own particular use.	
END	

PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST STEREOSCAN 3D - HE



TECHNICKÝ LIST

stereoSCAN^{3D}-HE, 5.0 MegaPixel

Technická specifikace

Snímač kamery	b/w, CCD, FireWire & IEEE 1394b	
Rozlišení kamery	2 x 2.452 x 2.054	
Projektor	Miniaturní projekční technika	
Světelný zdroj	Standardní	100W halogenová lampa
	Vysoce výkonný projektor	120W výbojka
Svitivost	Standardní	150 ANSI lumenů
	Vysoce výkonný projektor	2000 ANSI lumenů
Počet projektovaných linií	128	
Minimální doba měření	980 msec	
Hmotnost kamery	6.0 kg (7.7 kg)	
Napájecí zdroj	AC 110 / 230 volt, 50 - 60 Hz	
Ridič jednotka	150 W, USB 2.0	
Operační systém	Windows 7 64 Bit	

Zorné pole

Pozice venkovní kamery	Měřicí úhel:			30 stupňů		
	Základní vzdálenost:			450mm		
Provozní vzdálenost:						
840mm						
Zorné pole [mm] ⁽¹⁾	L-175	L-300	L-400	L-525	L-725	L-950
Velikost zorného pole [mm] ⁽²⁾	140 x 105	240 x 180	320 X 240	420 x 315	580 x 435	760 x 570
Hloubka měření [mm] ⁽³⁾	90	150	200	260	360	475
x,y rozlišení [μm] ⁽⁴⁾	60	100	130	170	240	310
Rozlišovací limit [μm] ⁽⁵⁾	4	6	8	11	15	19
Sum (z) [μm] ⁽⁶⁾	± 7	± 11	± 15	± 20	± 27	± 36
Přesnost měření [μm] ⁽⁷⁾	± 10	± 17	± 23	± 30	± 42	± 55

Pozice vnitřní kamery	Měřicí úhel:			30 stupňů		
	Základní vzdálenost:			200 mm		
Provozní vzdálenost:						
340 mm						
Zorné pole [mm] ⁽¹⁾	S-060	S-125	S-250			
Velikost zorného pole [mm] ⁽²⁾	48 x 36	100 x 75	200 x 150			
Hloubka měření [mm] ⁽³⁾	30	60	125			
x,y rozlišení [μm] ⁽⁴⁾	20	40	80			
Rozlišovací limit [μm] ⁽⁵⁾	1	3	5			
Sum (z) [μm] ⁽⁶⁾	± 2	± 5	± 9			
Přesnost měření [μm] ⁽⁷⁾	± 5	± 7	± 14			

www.breuckmann.com

1/2



Anotace:

Všechny zorné pole lze realizovat pomocí stejné základní součásti, videokamery, projektoru a zařízení pomocí pouhé změny cílů kamer / projektorů a v případě potřeby změnou pozice kamer.

Pro zjednodušení nastavení a kalibrace standardních měřicích rozsahů, jsou k dispozici pouze speciální testované čočky pro každé zorné pole. Čočky jsou dodány s továrním nastavením clony a hloubkou ostrosti, které jsou optimalizovány pro odpovídající zorné pole, a tyto hodnoty nesmí být změněny uživatelem.

Upozornění:

Všechny údaje uvedené v tomto technickém listu se vztahují pouze na jednotlivé snímky.

Uvedené specifikace měření jsou průměrné hodnoty pro střední rozsah měření dosažené za definovaných podmínek měření a poté přesné kalibrace snímače. Přesnost a rozlišovací schopnost jsou závislé na povrchu objektu a podmínkách snímání.

(1) Všechny hodnoty uvedené v tomto listu jsou aproximační hodnoty označující pořadí hodnoty. Například, je-li zorné pole "400", může mít obraz s úhlopříčkou mezi 375 a 425 mm.

(2) Velikost zorného pole se vztahuje na nulovou hodnotu.

(3) Maximální prodloužení ve směru osy z.

(4) Hodnoty pro laterální rozlišení jsou teoreticky vypočteny (poměr zorného pole a počtem pixelů kamery čipu)

(5) Rozlišovací limit je definován jako teoretická přesnost (poměr zorného pole a počtem pixelů kamery čipu).

(6) Hodnota sumy je měřena jako odchylka naměřených bodů. Sum z naměřených 3D dat velmi záleží na sumu snímače čipu kamery.

(7) Přesnost funkce je definována podle VDI 2634/2.

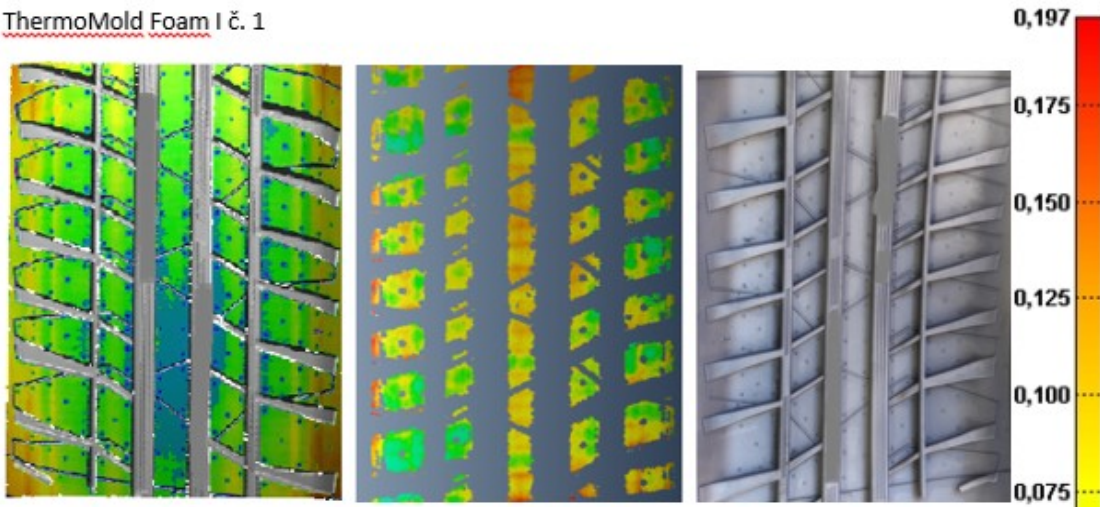
©Breuckmann GmbH
Průmyslové 3D zpracování a automatizace
Torenstr. 14 • 98709 Meersburg, Německo
Tel: +49 (0) 75 32 - 43 46 0
Fax: +49 (0) 75 32 - 43 46 50
info@breuckmann.com
www.breuckmann.com

Technický list stereoSCAN-HE 5.0_08-2011.doc

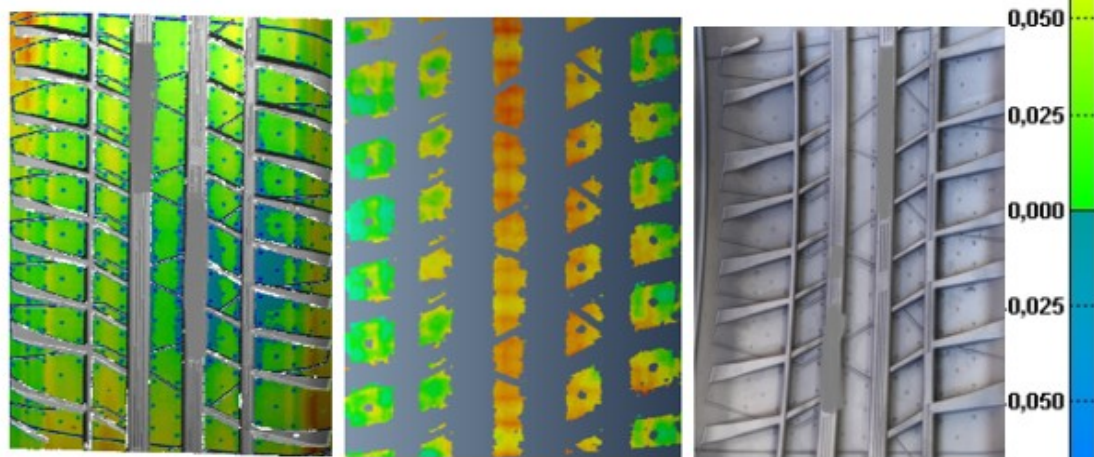
Podléhá změnám bez předchozího upozornění 2/2

PŘÍLOHA P V: SCANNY SÁDRY A ODLITKŮ, FOTO ODLITKŮ

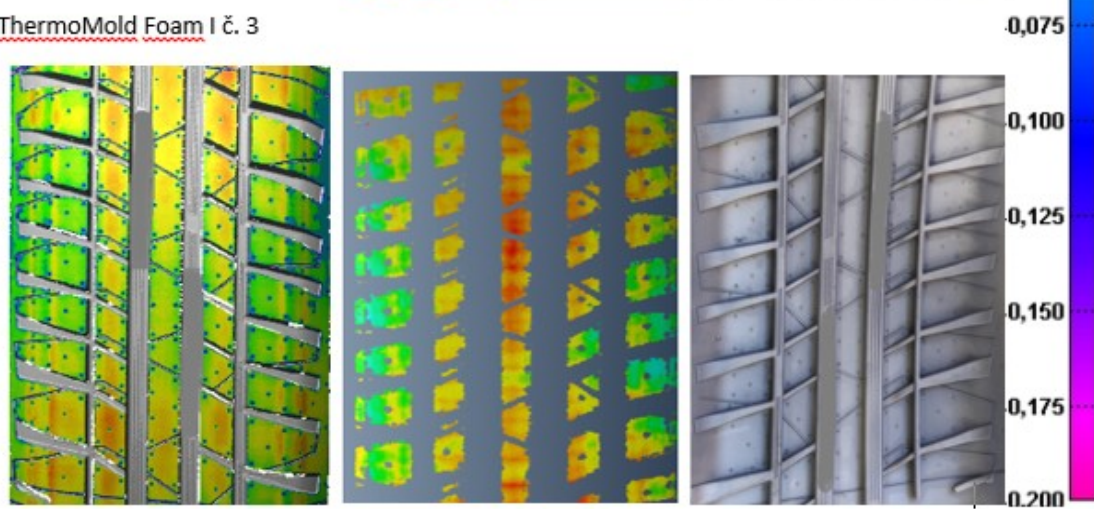
ThermoMold Foam I č. 1



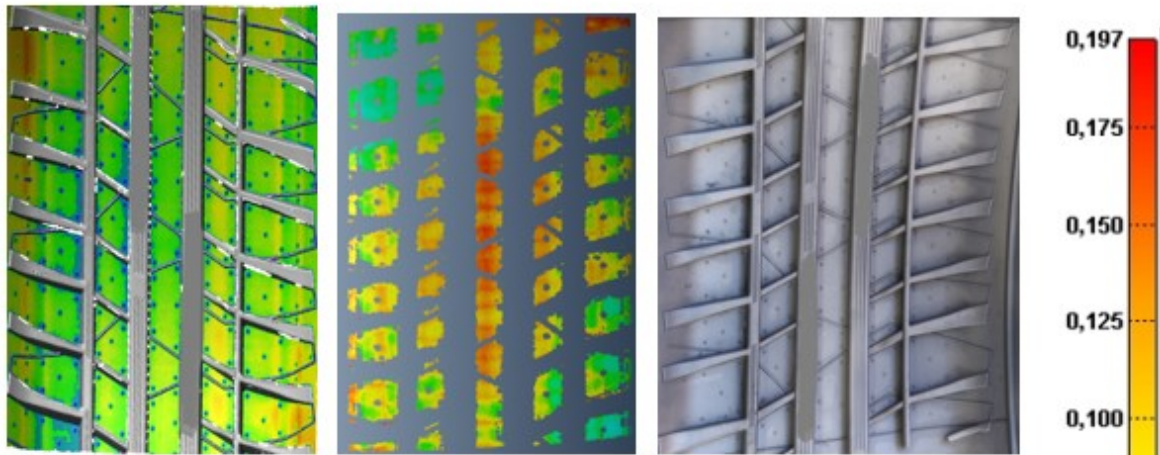
ThermoMold Foam I č. 2



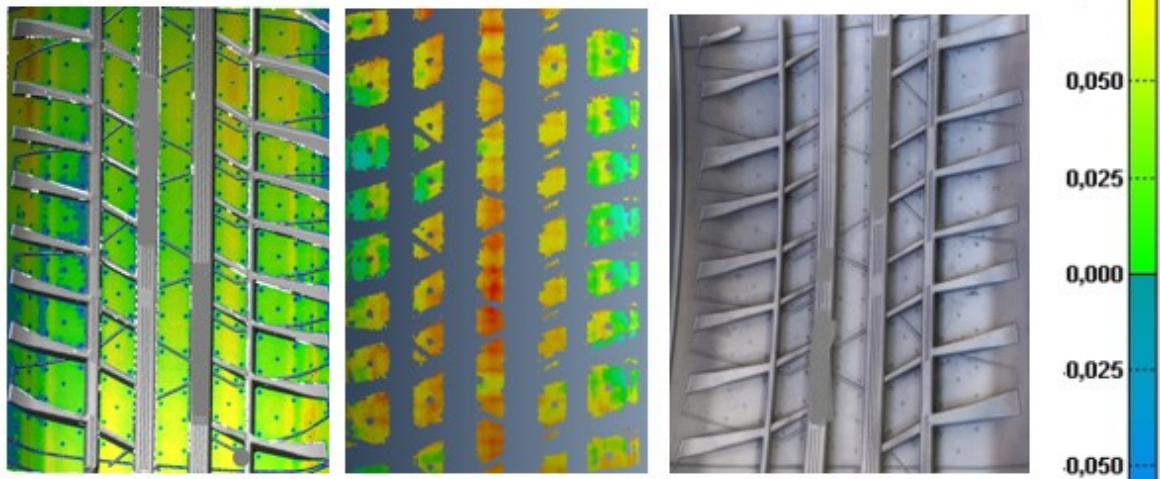
ThermoMold Foam I č. 3



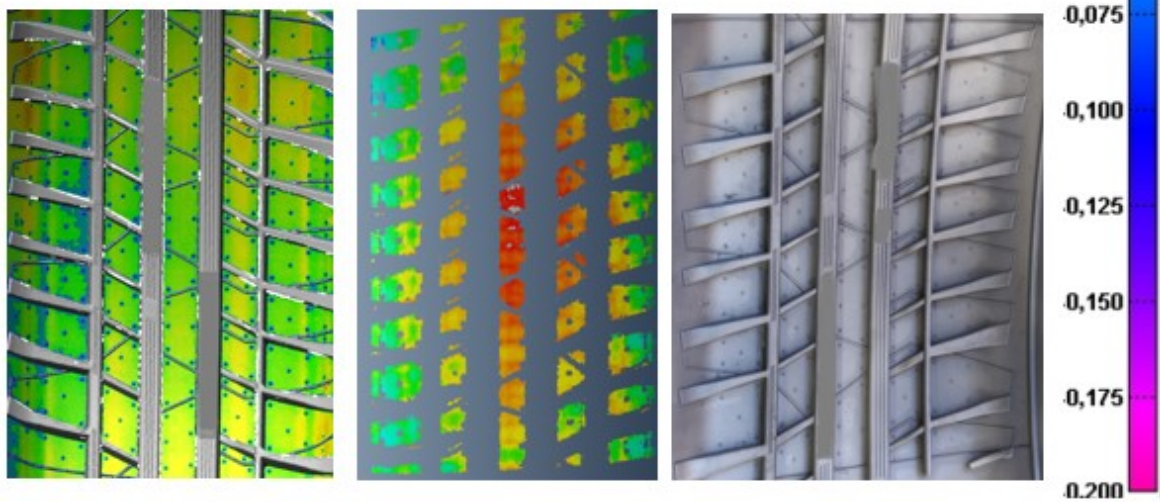
ThermoMold Foam II č. 3



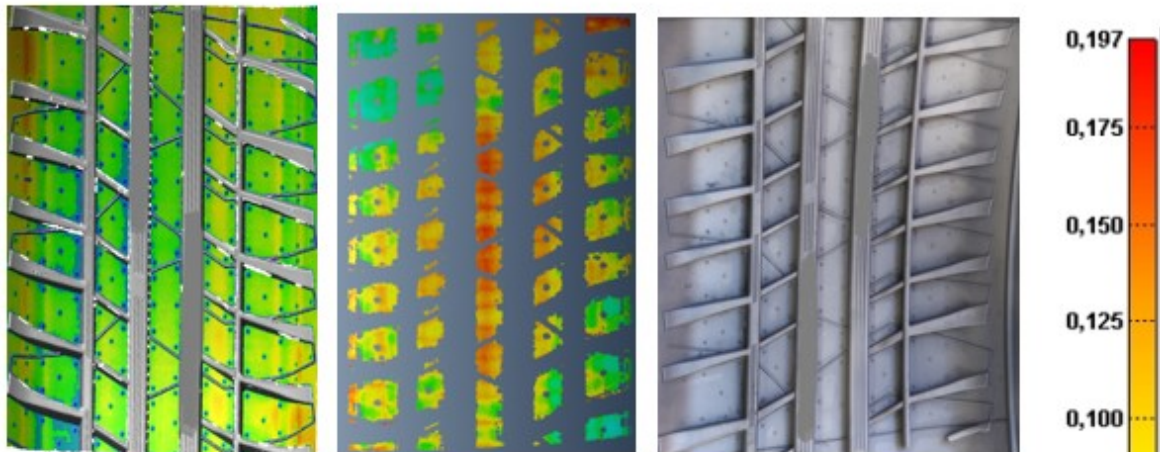
ThermoMold Foam II č. 4



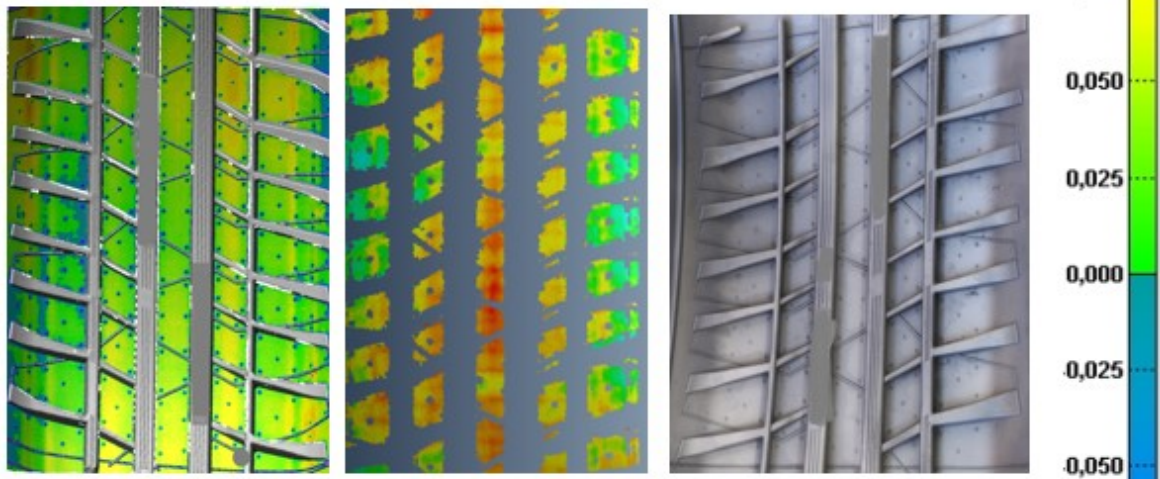
Hydroperm č. 1



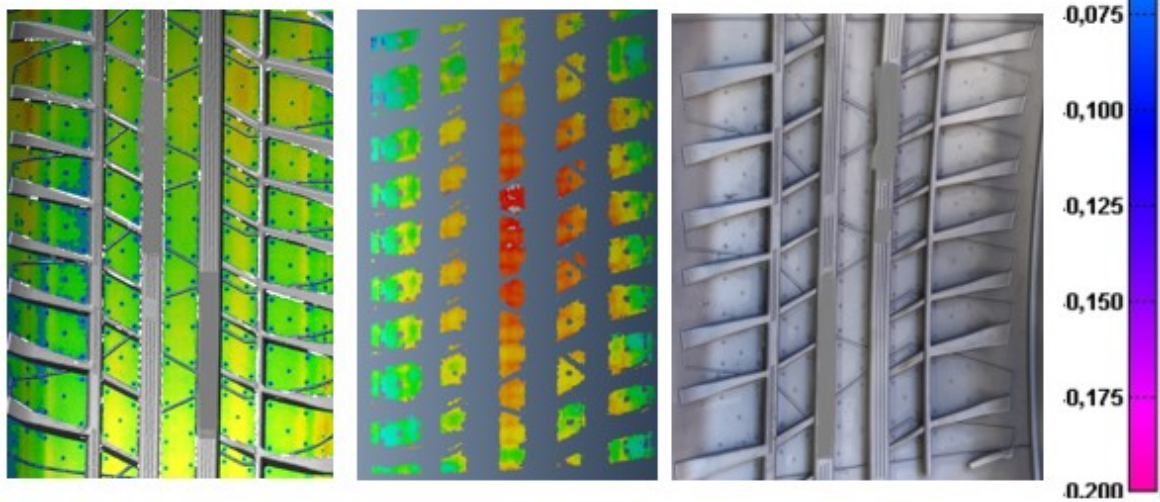
ThermoMold Foam II č. 3



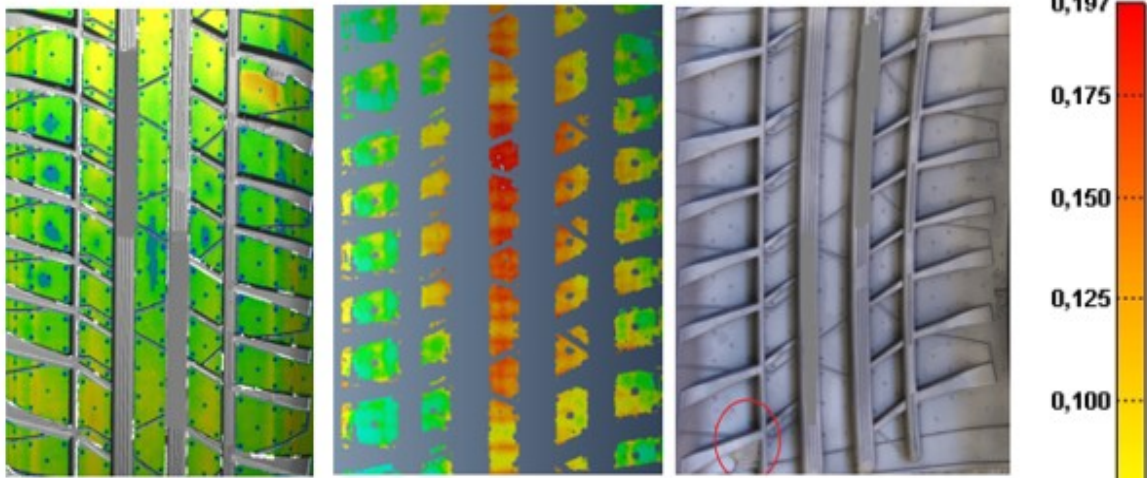
ThermoMold Foam II č. 4



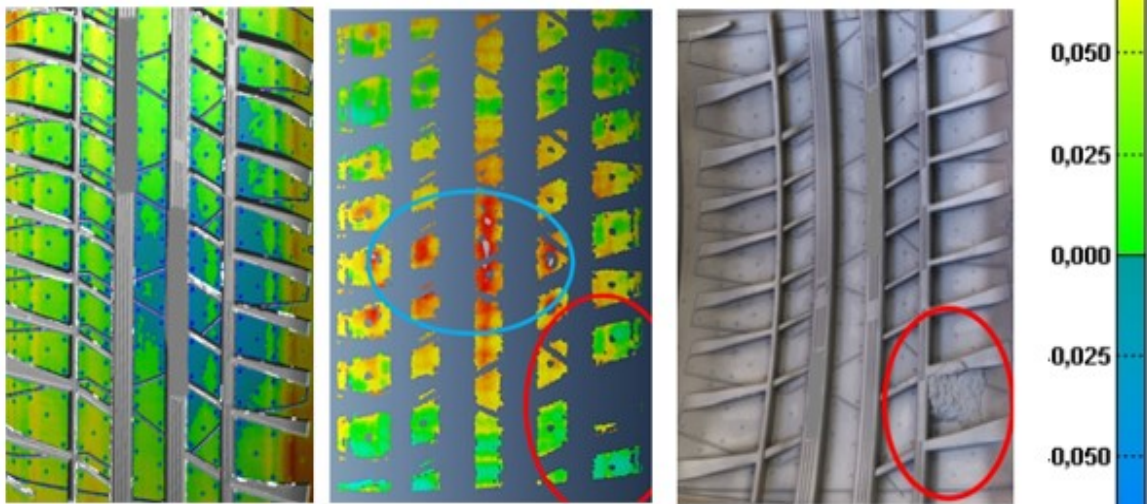
Hydroperm č. 1



Hydroperm č. 2



Hydroperm č. 3



Hydroperm č. 4

